Doctorat de 3e cycle
N° d'ordre :

THESE

PRESENTEE

A L'UNIVERSITE SCIENTIFIQUE ET MEDICALE

DE GRENOBLE

POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR DE 3e CYCLE

SPECIALITE : GEOLOGIE APPLIQUEE

PAR

Roland AUMAÎTRE

et

Georges BUFFET

Minéralogie, Pétrographie et Géochimie des laves spilitiques et des filons basiques associés du massif des Ecrins-Pelvoux.

(Alpes Françaises occidentales.)

SOUTENUE LE NOVEMBRE 1973 DEVANT LA COMMISSION D'EXAMEN

Mr. R. MICHEL	Président
Mme. N. VATIN-PERIGNON	Rapporteur
MM. P. GIRAUD J.L. TANE G. ROMIER	Examinateurs

Doctorat de 3e cycle
N° d'ordre :

THESE

PRESENTEE

A L'UNIVERSITE SCIENTIFIQUE ET MEDICALE

DE GRENOBLE

POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR DE 3e CYCLE

SPECIALITE : GEOLOGIE APPLIQUEE

PAR

Roland AUMAÎTRE

et

Georges BUFFET

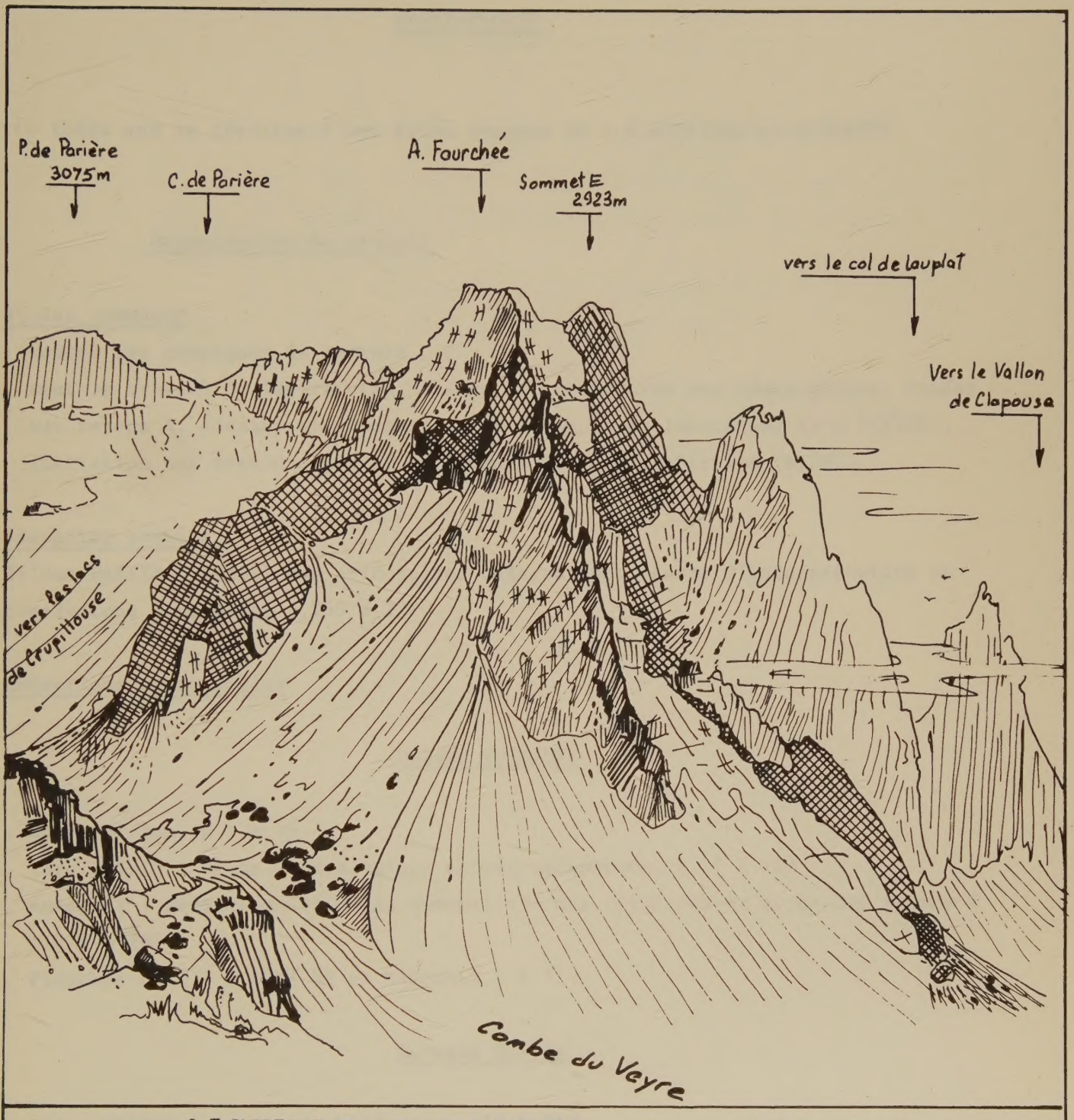
Minéralogie, Pétrographie et Géochimie des laves spilitiques et des filons basiques associés du massif des Ecrins-Pelvoux.

(Alpes Françaises occidentales.)

SOUTENUE LE NOVEMBRE 1973 DEVANT LA COMMISSION D'EXAMEN

Mr. R. MICHEL	Président
Mme. N. VATIN-PERIGNON	Rapporteur
MM. P. GIRAUD J.L. TANE G. ROMIER	Examinateurs

UNIV.
LEIDEN
BIBL.



AIGUILLE FOURCHEE vue vers le nord

AVANT-PROPOS

Cette thèse est le résultat d'une étude commune de : R.AUMAITRE et G.BUFFET

Organisation du travail

- Etudes communes
  - toutes les campagnes de terrain
  - tout le travail de laboratoire, à savoir : confection des lames minces, études aux rayons X, dosages en fluorescence X (avec la collaboration de G.VIVIER), initiation aux méthodes géochronologiques à Clermont-Ferrand (Rb/Sr).

- Rédaction commune

  IIIème PARTIE : Rappel des principales observations, essai d'interprétation et conclusions générales, p.259 à 277.

- Rédactions personnelles

Roland AUMAITRE

- Introduction, p.1 à 16
- Ière PARTIE : Etude minéralogique et pétrographique, p.17 à 156
- Annexe I : Détermination de la composition des chlorites au moyen des rayons X p.279 à 285
- Planches Pl I 1 à Pl I 56 et tableaux 1 à 11.

Georges BUFFET

- IIème PARTIE : Etude géochimique, p.159 à 257
- Analyse statistique multivariable
- Planches Pl II 1 à Pl II 41.

REMERCIEMENTS

A l'issue de ce travail nous tenons à remercier les personnels, techniques, hercheurs et enseignants des laboratoires suivants, pour l'aide qu'ils nous ont pportée en cours de recherche ;

M. DEBELMAS et le laboratoire de géologie alpine associé au CNRS, pour nous avoir permis de mener à bien une étude géochimique onéreuse ;

M. de LA ROCHE et le laboratoire du CRPG de Nancy ;

M. SHAW et le laboratoire de géochimie de l'Université de Mc MASTER (ONTARIO).

M. ROCCI qui dans le cadre de la RCP-214 a participé au financement de nos campagnes de terrain ;

M. VIALETTE pour les mesures géochronologiques et pour nous avoir permis d'effectuer un stage d'initiation à ces méthodes ;

M. ROMIER (IMSS Grenoble) pour le traitement de nos données par ordinateur ;

Le laboratoire de sédimentologie de Strasbourg ;

Mme AUMAITRE et Melle BOUVEYRON pour la dactylographie de cette thèse et

M. CHABERT pour en avoir assuré l'impression.

Enfin nous remercions spécialement les membres du jury de l'intérêt qu'ils nt porté à notre étude, et particulièrement Mme VATIN-PERIGNON pour avoir suivi vec beaucoup d'attention ce travail, tant sur le terrain qu'au laboratoire.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION

A. Localisation géographique et géologique du secteur étudié p. 1
B. Historique p. 6
C. Objet et but de ce travail (méthodes employées) p. 8
D. Préambule p. 9
D1 Numérotation des échantillons p. 9
D2 Différents symboles utilisés p. 9
E. Terminologie p. 12
E1 Textures et structures p. 12
E2 Les spilites p. 13
E3 Les filons basiques p. 15
E31 Les dolérites p. 15
E32 Les lamprophyres p. 16
E4 Les formations volcano-sédimentaires p. 16

Ière PARTIE : ETUDE MINERALOGIQUE ET PETROGRAPHIQUE p. 17

1 Etude des laves spilitiques p. 19
1.1 Etude des différents gisements - coupes p. 19
1.1.1 Côte Dure p. 19
1.1.2 Oris en Rattier p. 21
1.1.3 Lac du Vallon p. 23
1.1.4 Col d'Hurtières — Les gisements du Valbonnais p. 23
1.1.5 Col de Près-Clos — et du Beaumont p. 31
1.1.6 Les gisements d'Aspres-les-Corps p. 34
1.1.7 Beaufin p. 38
1.1.8 Col de Lauplat p. 49
1.1.9 Col de Clapouse p. 52
1.1.10 Aiguilles de Morges — Les gisements du p. 54
1.1.11 Col des Chevrettes — Synclinal de Morges p. 56
1.1.12 Vallon Long p. 62
1.1.13 Gouiran p. 65
1.1.14 La Route p. 67
1.1.15 Les Plates de Charvet p. 75
1.2 Synthèse de l'étude minéralogique et pétrographique des gisements spilitiques p. 77
1.2.1 Les laves spilitiques p. 77

1.2.1.1 Architecture p. 77
1.2.1.2 Minéralogie - pétrographie p. 78
1.2.2 Les horizons intercalaires p. 87
1.2.2.1 Les principales formations et leur minéralogie p. 87
1.2.1.2 Milieu d'épanchement des laves spilitiques p. 92
2 Etude des filons basiques p. 94
2.1 Introduction p. 94
2.2 L'ensemble dolérito-spilitique p. 95
2.2.1 Les dolérites s.str. p. 95
2.2.1.1 Les dolérites s.str. à pyroxène et amphibole p.103
2.2.1.2 Les dolérites s.str. à pyroxène p.104
2.2.1.3 Les dolérites s.str. à amphibole p.105
2.2.2 Les dolérites porphyriques p.108
2.2.3 Les dolérites ophitiques p.110
2.2.3.1 Les dolérites ophitiques à pyroxène et amphibole p.110
2.2.3.2 Les dolérites ophitiques à amphibole p.111
2.2.4 Les dolérites microscristallines p.114
2.2.5 Les dolérites à chlorite p.115
2.2.6 Les filons spilitiques p.121
2.3 Les lamprophyres p.124
2.4 Le secteur Crupillouse-Sirac-Haut Vallon de la Selle p.128
2.4.1 Amas filonien du Gouiran p.128
2.4.2 Filon du ravin de la Saume p.129
2.4.3 Filons sécants sous la pointe 3036 p.130
2.4.4 Filons sécants de la pointe de Chanteloube p.131
2.4.5 Filons sécants du Triéou de la Bouchéyère p.132
2.4.6 Amas grenu du Triéou de la Bouchéyère p.133
2.4.7 Aiguille Fourchée p.136
2.4.7.1 Le dyke de Crupillouse p.136
2.4.7.2 La cheminée volcanique de l'Aiguille Fourchée p.137
2.4.7.3 Le dyke de la Combe du Veyre p.140
2.4.7.4 Conclusions p.144
2.5 Etude des directions filoniennes p.144
2.6 Synthèse de l'étude minéralogique et pétrographique des filons p.144
3 Conclusions à l'étude minéralogique et pétrographique des laves et des filons p.152

IIème PARTIE : GEOCHIMIE p.157

1 Introduction et définitions p.159

1.1 Unités p.159

1.2 Remarques sur la représentation graphique de la composition chimiques des roches p.160

1.2.1 Propriétés de la meilleure représentation graphique p.161

1.2.2 Application p.163

1.2.3 Conséquences sur l'orientation de l'étude géochimique p.164

2 Caractéristiques géochimiques des éléments dosés p.169

2.1 Tableaux des moyennes p.169

2.1.1 Roches basaltiques p.169

2.1.2 Cortège dolérito-spilitique des Ecrins-Pelvoux (Eléments majeurs) p.170

2.1.3 Cortège dolérito-spilitique des Ecrins-Pelvoux (Eléments en traces) p.171

2.2 Histogrammes des fréquences p.172

2.3 Corrélations entre éléments p.172

2.3.1 Ensembles de référence p.172

2.3.2 Présentation des résultats p.172

2.3.2.1 Analyse de grappes simplifiée p.172

2.3.2.2 Illustrations synthètiques p.173

2.4 Discussion des données statistiques mono et bivariables p.194

2.4.1 Les éléments majeurs peu variants p.194

2.4.1.1 Le groupe Fe, Ti, V p.194

2.4.1.2 Le groupe Si, Al, Mg p.198

2.4.2 Famille C, Ca, Mn p.202

2.4.3 Les alcalins K et Rb p.206

2.4.3.1 Le potassium p.206

2.4.3.2 Le rubidium et le rapport K/Rb p.208

2.4.4 Na et la différenciation alcaline p.214

2.4.4.1 Na p.214

2.4.4.2 Variations simultanées de K et Na p.218

2.4.5 Li p.219

2.4.6 Rb, Sr et Tl p.222

2.4.6.1 Les rapports isotopiques de Rb et Sr p.222

2.4.6.2 Le rapport Rb/Tl p.223

2.4.6.3 Sr et Ca p.223

2.4.7 Eléments en traces peu variants : Cr, Ni, Cu, Co p.226

2.4.8 Rôle différentiel des éléments volatils p.227

2.5 Synthèse et bilan des principales observations géochimiques et statistiques mono et bivariables p.228

3 Etude statistique multivariable (analyse factorielle) p.231
3.1 Présentation technique des analyses statistiques p.231
3.1.1 Nomenclature des tableaux analysés p.231
3.1.2 Type d'analyse statistique adopté p.232
3.1.3 Résultats bruts des analyses p.233
3.1.3.1 Analyses sur les laves spilitiques seules p.233
3.1.3.2 Analyses sur les filons dolérito-spilitiques p.239
3.1.3.3 Autres analyses p.239
3.1.4 Conséquences des résultats globaux de l'analyse factorielle p.240
3.2 Interprétation des facteurs p.242
3.2.1 Le facteur opposant (Al, Si, Na) à (C, Ca) p.242
3.2.1.1 Aspect descriptif p.242
3.2.1.2 Interprétation par un caractère spilitique p.243
3.2.2 Facteur opposant (K (Fe)) à (Mg, O, H) p.246
3.2.3 Facteur opposant (Si, O, H) à (Ti, Fe) p.250
3.2.3 Les autres facteurs p.251
3.3 Synthèse des représentations graphiques sur les plans factoriels p.251
3.4 Bilan de l'analyse factorielle p.252
4 Bilan géochimique p.257

IIIème PARTIE p.259

1 Rappel des principales observations p.261
1.1 Minéralogie, pétrographie p.261
1.2 Gîtologie p.261
1.3 Magmatisme p.262
1.4 Métamorphisme p.262
1.5 Géochimie p.262
2 Problèmes posés par le caractère spilitique p.264
2.1 Rappel des différentes hypothèses sur la spilitisation p.264
2.2 Discussion des différentes hypothèses p.265
2.2.1 Métamorphisme général p.265
2.2.2 Réchauffement local p.266
2.2.3 Hautes pressions des fonds océaniques p.266
2.2.4 Cristallisation directe de la paragénèse spilitique p.267
3 Essai d'interprétation p.267
3.1 Modèle de Niggli et lignées du cortège dolérito-spilitique p.269
3.1.1 Stade orthomagmatique p.269
3.1.2 Stade pegmatitique p.270
3.1.3 Stade pneumatolytique p.270
3.1.4 Stade hydrothermal p.270

3.2 Effets secondaires du stade hydrothermal p.272
3.3 Bilan p.272
4 Conséquences prévisionnelles possibles de l'hypothèse génétique retenue p.273
4.1 Profondeur du début de la transformation hydrothermale p.273
4.2 Influence de la haute pression fluide sur l'encaissant du réseau filonien p.274
4.3 Discussion p.274
5 Conclusions générales p.277

ANNEXES

- Annexe I : Détermination de la composition approchée des chlorites au moyen des rayons X. p.279
- Annexe II : Tableau des analyses chimiques p.286
- Bibliographie p.293

TABLE DES PLANCHES ET TABLEAUX

Ière PARTIE

Pl I 1	Schéma orohydrographique	p. 4
Pl I 2	Schéma géologique	p. 5
Pl I 3	Agencement des coupures IGN au 1/20.000e et numérotation des échantillons	p. 11
Pl I 4	Nomenclature des roches spilitiques	p. 14
Pl I 5	Côte Dure	p. 19
Pl I 6	Oris en Rattier	p. 21
Pl I 7	Lac du Vallon	p. 23
Pl I 8	Col d'Hurtières	p. 25-26
Pl I 9	Photos	p. 28-29
Pl I 10	Col de Prés-Clos	p. 33
Pl I 11	Col d'Aspres	p. 36
Pl I 12	Beaufin	p. 38
Pl I 13	Photos	p. 40-41
Pl I 14	Photos	p. 42-43
Pl I 15	Photos	p. 44-45
Pl I 16	Col de Lauplat	p. 49
Pl I 17	Col de Clapouse	p. 52
Pl I 18	Aiguille de Morges	p. 55
Pl I 19	Cros des Chevrettes	p. 56
Pl I 20	Photos	p. 58-59
Pl I 21	Col des Chevrettes	p. 60
Pl I 22	Vallon Long	p. 62
Pl I 23	Amas du Gouiran	p. 65
Pl I 24	Photo : Panorama de la Rouite	p. 66
Pl I 25	La Rouite	p. 67-68
Pl I 26	Photos	p. 70-71
Pl I 27	Plates de Charvet	p. 75
Pl I 28	Chlorites des spilites	p. 81
Pl I 29	Diagrammes rayons-X	p. 84
Pl I 30	Chlorites des horizons intercalaires	p. 89
Pl I 31	Cristallinité des micas	p. 91
Pl I 32	Photos	p.106-107
Pl I 33	Photos	p.112-113
Pl I 34	Photos	p.116-117
Pl I 35	Photos	p.118-119
Pl I 36	Photos	p.122-123
Pl I 37	Photo : filons basiques dans le torrent des Rougnoux	p.127
Pl I 38	Amas filonien du Gouiran	p.128

Pl I 39	Filon du ravin de la Saume	p.129
Pl I 40	Filons sécants sous la pointe 3036	p.130
Pl I 41	Filons sécants de la pointe de Chanteloube	p.131
Pl I 42	Filons sécants du Triéou de la Bouchéyère	p.132
Pl I 43	Amas grenu du Triéou de la Bouchéyère	p.133
Pl I 44	Base de l'amas grenu du Triéou de la Bouchéyère	p.134
Pl I 45	Schéma géologique du secteur de l'Aiguille Fourchée	p.135
Pl I 46	Dyke de Crupillouse	p.136
Pl I 47	Photos	p.138-139
Pl I 48	Dyke de la Combe de Veyre	p.140
Pl I 49	Photos	p.142-143
Pl I 50	Directions filoniennes	p.145
Pl I 51	Histogramme de fréquence de la teneur en anorthite des plagioclases	p.146
Pl I 52	Chlorites des filons	p.149
Pl I 53	Les grands décrochements du Massif des Ecrins-Pelvoux	p.154

TABLEAUX

1	Albite BT, analyse chimique et indexation R-X	p. 79
2	Chlorite, analyse chimique et indexation R-X	p. 82
3	Augite, analyse chimique et indexation R-X	p. 83
4	Analyse chimique argilite	p. 87
5	Etalonnage, cristallinité des micas	p. 90
6	Secteurs filoniens	p. 94
7	Localisation des échantillons filoniens	p. 96-101
8	Classification struturo-minéralogique de l'ensemble dolérito-spilitique	p.102
9	Augite indexation R-X	p.109
10	Analyses chimiques de micas provenant d'une minette/kersantite	p.125
11	Analyse chimique d'un "nodule de péridotite"	p.141

ANNEXE I

Pl I 54	Classification des chlorites selon Hey (1954) et courbe de Petruk (1964)	p.283
Pl I 55	Classification des "chlorites selon Foster (1962) et Détermination de la formule structurale d'une chlorite au moyen des rayons X	p.284
Pl I 56	Calcul de la formule structurale d'une chlorite à partir de son analyse chimique (Foster, 1962)	p.285

IIème PARTIE

P1 II 1	Changement d'axe dans un repère à deux dimensions (cas particulier des représentations à deux caractères)	p.166
P1 II 2	Fréquences du silicium	p.175
P1 II 3	Fréquences de l'aluminium	p.176
P1 II 4	Fréquences du fer	p.177
P1 II 5	Fréquences du magnésium	p.178
P1 II 6	Fréquences du calcium	p.179
P1 II 7	Fréquences du sodium et du potassium	p.180
P1 II 8	Fréquences du titane	p.181
P1 II 9	Fréquences du maganèse	p.182
P1 II 10	Fréquences de l'hydrogène	p.183
P1 II 11	Fréquences du carbone	p.184
P1 II 12	Fréquences du rubidium	p.185
P1 II 13	Fréquences du strontium	p.186
P1 II 14	Fréquences des éléments traces Ba, Co, Cu, Cr, V, Ni, Li	p.187
P1 II 15	Matrice des corrélations entre éléments majeurs et traces dans les laves	p.188
P1 II 16	Matrice des corrélations entre éléments majeurs dans les filons dolérito-spilitiques	p.189
P1 II 17	Matrice des corrélations entre éléments majeurs dans les filons basiques	p.189
P1 II 18	Corrélations entre éléments majeurs et traces dans les laves	p.190
P1 II 19	Corrélations entre éléments majeurs dans les filons dolérito-spilitiques	p.191
P1 II 20	Corrélations entre éléments majeurs et traces dans les filons dolérito-spilitiques	p.192
P1 II 21	Corrélations entre éléments majeurs dans les filons basiques	p.193
P1 II 22	Relation Ca/Mg	p.201
P1 II 23	Relation K/Rb (données de SCHROLL, 1968)	p.210
P1 II 24	Relation K/Rb (cortège dolérito-spilitique du Massif des Ecrins-Pelvoux)	p.211
P1 II 25	Diagramme 4Si - 11 (Na+K) - 2(Fe+Ti) ; 6Ca + 2Mg + Al	p.215
P1 II 26	Diagramme Al/3 - K ; Al/3 - Na (de LA ROCHE) - total -	p.216
P1 II 27	Diagramme Al/3 - K ; Al/3 - Na (de LA ROCHE) - simplifié -	p.217
P1 II 28	Diagramme Si/3 - (Na + K +2Ca/3) ; K - (Na + Ca)	p.218bis
P1 II 29	Relation Li/H	p.220
P1 II 30	Relation Tl/Rb	p.224
P1 II 31	Relation Ca/Sr	p.225
P1 II 32	Variation des principaux éléments en fonction de K	p.230
P1 II 33	Projection des composantes et qualité de la représentation factorielle des laves spilitiques	p.234

P1 II 34 Projection des composantes et qualité de la représentation factorielle des filons dolérito-spilitiques p.235

P1 II 35 Projection des composantes et qualité de la représentation factorielle des laves et filons dolérito-spilitiques p.236

P1 II 36 Projection des composantes et qualité de la représentation factorielle des laves et filons basiques p.237

P1 II 37 Projection des filons dolérito-spilitiques sur le plan 1,3 p.249

P1 II 38 Projection des laves spilitiques sur le plan 1,2 p.250

P1 II 39 Projection des laves spilitiques sur le plan 1,3 p.253

P1 II 40 Projection des filons basiques sur le plan 1,2 p.254

P1 II 41 Projection des laves spilitiques et filons basiques sur le plan 1,2 p.255

IIIème PARTIE

P1 III 1 Tétraèdre de Yoder et Tilley et modèle de Niggli p.268

P1 III 2 Schéma synthétique de la différenciation spilitique dans les Massifs des Ecrins-Pelvoux p.277

I N T R O D U C T I O N

Rédaction: R. AUMAITRE

A - LOCALISATION GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE DU SECTEUR ETUDIE

Le secteur étudié au point de vue du volcanisme effusif et intrusif s'étend sur toute la partie W et S du massif des Ecrins-Pelvoux , il s'agit principalement :

- des laves spilitiques de la bordure occidentale ;
- des laves spilitiques du synclinal pincé : aiguille de Morges, Villard-Loubières , St-Christophe ;
- des ensembles filoniens du Valbonnais à l' W , et surtout du secteur Crupillouse-Sirac , haut vallon de la Selle(Vallouise).

Le massif des Ecrins-Pelvoux fait partie des " massifs cristallins externes " représentant les fragments d'une ancienne chaîne d'âge paléozoïques incorporée au plissement plus récent de l'arc alpin . D'après les travaux de Le FORT (1971) nous pouvons distinguer les principales unités géologiques suivantes :

- une écorce non mobilisée (micaschistes,amphibolites et leptynites associés);
- un noyau moyennement à fortement mobilisé où l'on distingue tout un cortège gneissique : gneiss ocellaires , oeillés , granitoïdes, amphiboliques et des granulites ;
- un complexe granitique intrusif carbonifère dans le noyau et en bordure de l'écorce (granites monzonitiques ou albitiques,aplites et granites aplitiques;
- des filons basiques et acides;

recoupant toutes les structures, les filons basiques apparaissent surtout dans le S et le SW du massif et perdent de leur importance en allant vers le NE tandis que croit celle des filons acides.

Les filons du secteur de Crupillouse traversent les "gneiss oeillés de Crupillouse " (orthogneiss), ceux du haut vallon de la Selle et du Valbonnais traversent les gneiss et migmatites du noyau; quant aux filons du Sirac ils traversent des gneiss à faciès ocellaires .

Dans certains points à l' W du massif les filons traversent également des formations exemptes de tout métamorphisme . Il s'agit essentiellement de conglomérats , grès et schistes carbonifères (Westphalien D et Stéphanien), " ces formations comprennent à leur sommet extrême deux lambeaux très réduits de grès et conglomérats colorés en rouge attribués au PERMIEN (VERNET 1965).

- une bordure sédimentaire secondaire et tertiaire et des sutures sédimentaires à l'intérieur du massif.

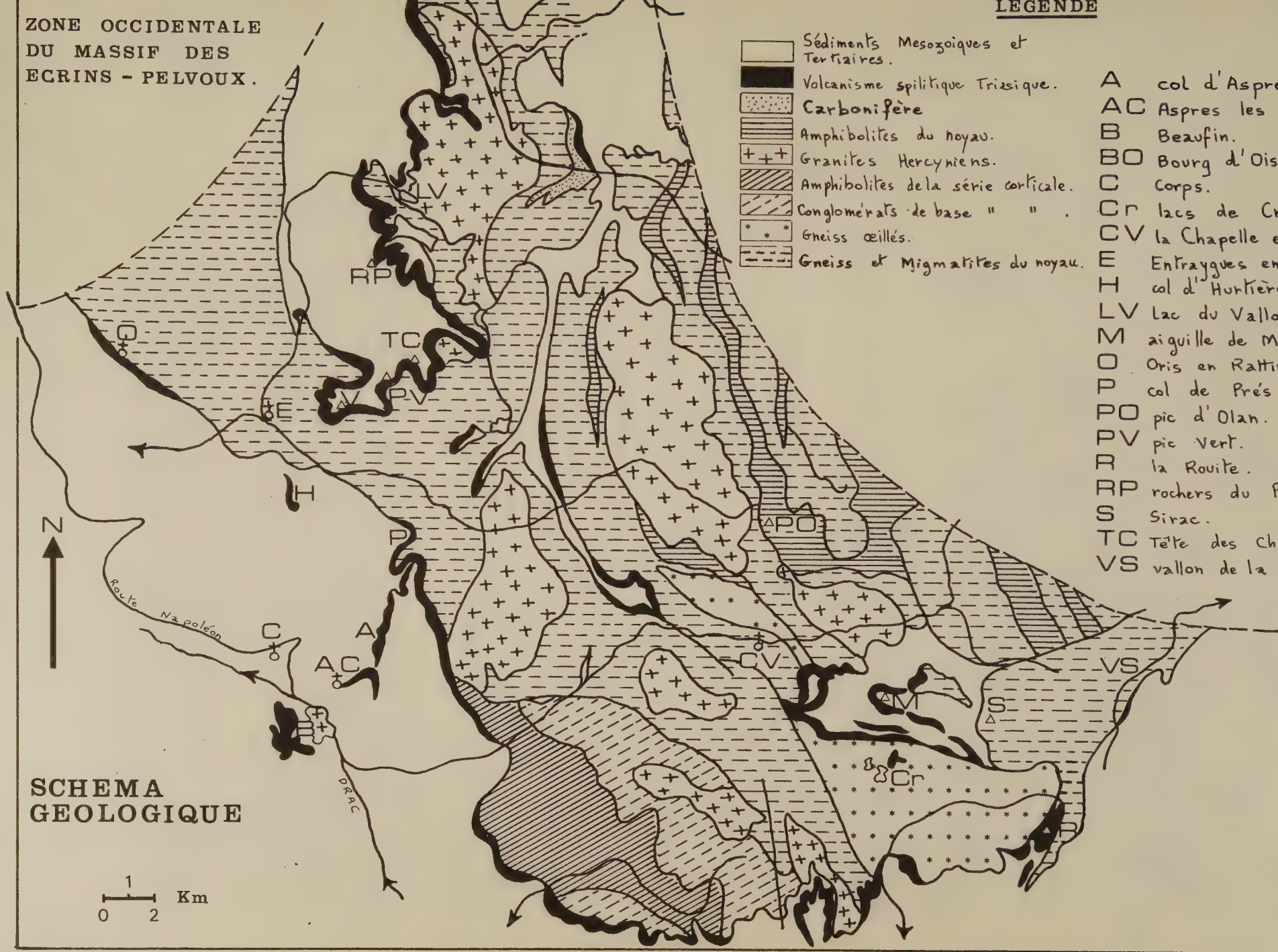
Ce dernier ensemble est presque toujours discordant sur les formations antérieures : gneiss du socle ,Houiller , Permien et débute toujours par un Trias de type germanique réduit , essentiellement calcaro-dolomitique , dans lequel , ou au sommet duquel , (limite Trias-Lias) viennent s'intercaler les coulées spilitiques . Le Trias est surmonté par les calcaires brun-noirs du Lias inférieur où l'on peut noter encore quelques intercalations spilitiques (Sinémurien moyen .BARBIER 1954).

Pour la géologie du socle cristallin il sera bon de se reporter aux travaux récents de BARBIERI , BARBIERI-GILLOT , LACOMBE , PECHER(1970) ,Le FORT(1971),BIJU-DUVAL(à paraître) et pour la géologie de la couverture sédimentaire aux travaux de VERNET(1965) et de APRAHAMIAN(1968).

LEGENDE
RIVIÈRES
LIGNES DE CRÊTES
SOMMETS
VILLAGES
Schéma Orohydrographique
PL.I.1
N
MASSIF DES ECRINS - PELVOUX
Le Bourg d'Oisans
Bge du Chambon
Romanche
Oisans
Col d'Orcien
Les Deux-Alpes
Vénéon
Venosc
3023 Le Rochail
le Rateau 3809
3983 La Meige
La Gde Ruine 3765
Mif du Soreiller
St Christophe en-Oisans
Stel de Lauvitel 2902
Clapier du Peyron 3169
3465 Roche de la Muzelle
le Périer
La Bérarde
4102 Barre des Ecrins
Entraigues
l'Arcanier 2575
Valbonnais
Bérangeon
Pic de Valsenestre 2753
Aig le des Arias 3403
3946 Mr Pelvoux
Ailefroide
la chapelle en Valgoffrey
Valgoffrey
Bonne
Pic d'Olan 3564
3589 Les Rouies
3669 Les Bans
3515 Boeufs Rouges
Celse Nière
Vallouise
Selle
ND de la Salette
Beaumont
Bge du Sautet
Corps
2776 Grun St Maurice
Villar-Loubière
La Chapelle-en-Valgaudemar
Aspres
Lacs de Pétarel
Rge de Vallonpierre C.A.F
Aig le de Morges
Pte de Verdonne
Trieou de la Bouchetière
Combe de Narreyroux
3440 Sirac
Séveraisse
Valgaudemar
Aigle Fourchée
Lacs de Crupillouse
Fournel
Durance
Beaufin
Drac
Champoléon
Les Auberts
Pastorale
la Rouite
3179 Pntes de Rougnoux
Mgne du Pt Chaillol
Champsaur
Drac Blanc
ECHELLE: 1 0 2 Km
ZONE ETUDIÉE
LEMAN
GENÈVE
Préalpes
Isère
ALPES
Mt BLANC
Arc
GRENOBLE
BELLEDONNE
Mts de Rousses
ECRINS PELVOUX
Drac
Durance
ITALIE
TORINO
MERCANTOUR
ECHELLE 0 30

PL. I. 2

ZONE OCCIDENTALE
DU MASSIF DES
ECRINS - PELVOUX.



SCHEMA
GEOLOGIQUE

B.HISTORIQUE

Dès la fin du XIXe siècle sera publiée par TERMIER la première étude complète du massif des Ecrins-Pelvoux. Ses travaux consignés sur la feuille de Briançon au 1/80.000(1900), et dans de nombreuses publications (1896-1928), resteront jusqu'à ces dernières années les plus précis sur ce massif.

Il distingue trois ensembles importants qui serviront de référence à tous les travaux ultérieurs :

- les schistes cristallins azoïques
- les granites du Pelvoux
- et les filons tardifs recoupant toutes les formations: diabases, lamprophyres, orthophyres houillers, et spilites, particulièrement abondants dans la partie S et W du massif.

Dès 1893 il interprétait les lamprophyres comme représentant la forme filonienne du volcanisme spilitique triasique que l'on retrouve sur toute la bordure occidentale du massif et jalonnant le synclinal pincé de l'aiguille de Morges. Il insistait plus particulièrement sur l'appauvrissement en chaux des roches éruptives basiques de cette région, appauvrissement lié, selon lui, à un enrichissement en alcali par l'action, sur les silicates calciques des roches, d'eaux superficielles ayant préalablement traversé le granite et les gneiss.

Les études suivantes, près de cinquante ans plus tard, reviennent à BELLAIR(1948). A l'opposé de TERMIER qui entrevoyait pour le Pelvoux une tectonique souple, cet auteur voit au contraire une tectonique dominée par le jeu des faibles. Ses recherches pétrographiques et ses documents cartographiques n'apportent rien de nouveau et sont mêmes sur certains points (gneiss et filons basiques) en régression par rapport aux travaux de TERMIER .

En 1965 VERNET résumera toutes les observations minutieuses qu'il a pu réaliser sur l'ensemble de la couverture du massif, s'attachant à décrire les moindres affleurements, ce qui nous fut d'une aide précieuse pour le relevé des coulées spilitiques.

MICHEL et TANE (1960) découvrent des laves spilitiques en coussins et à la même époque (MICHEL et Col.1960) mettent en évidence la présence de spilites potassiques dans certains gisements triasiques du Pelvoux.

TANE(1963) étudie particulièrement le problème des laves spilitiques triasiques et rejoint les idées de TERMIER en affirmant que les filons lamprophyriques sont bien le trait d'union entre les coulées spilitiques superficielles et les réservoirs basaltiques de la profondeur. A la suite de la découverte de la cheminée spilitique de l'aiguille Fourchée (MICHEL - VERNET 1956) il proposait (1967) de rapporter le passage du faciès lamprophyrique au faciès spilitique aux inégalités de solubilité dans l'eau des éléments majeurs.

Les études particulières réalisées également sur les laves spilitiques du Pelvoux par TANE , VATIN-PERIGNON(1969)et VATIN-PERIGNON SHAW (1972) en particulier sur l'étude des éléments en traces , concernent plus spécialement le problème de leur origine .

Les filons du massif des Ecrins-Pelvoux ont également récemment été décrits par VATIN-PERIGNON et Col.(1972) qui en distinguent une grande variété :ultrabasites,dolérites,diabases,lamprophyres,spilites,micro-diorites,microgranites et ryolites.

De nombreuses et récentes études traitent plus spécialement de la géologie d'ensemble du socle cristallin du massif: BARBIERI,BARBIERI-GILLOT,LACOMBE et PECHER(1970)reprennent l'étude pétrographique de la partie orientale,alors que Le FORT(1971) va réaliser l'étude pétrographique et structurale de la partie occidentale;quant à la partie nord , la géologie du Haut-Vénéon déjà entrevue par OZOCAK (1965) vient d'être reprise par BARTOLI(1973).

Les travaux en cours de BIJU-DUVAL sur la partie sud (massif du Sirac) nous apportent de nombreuses précisions sur le contexte dans lequel s'insère l'ensemble filonien dolérito-spilitique de ce secteur.

C.OBJET ET BUT DE CE TRAVAIL
(Méthodes employées)

Poursuivant les travaux antérieurs et en cours de J.L.TANE et N.VATIN-PERIGNON , nos recherches sur les laves spilitiques triasiques et les filons basiques du massif des Ecrins-Pelvoux ont pour but de préciser la minéralogie de ces faciès , d'établir le bilan géochimique de ces venues (cet aspect n'ayant auparavent pratiquement jamais été abordé) et enfin de mettre en évidence les relations magmatiques pouvant exister entre le volcanisme effusif triasique et l'ensemble dolérito-spilitique intrusif.

Pour ce faire nous avons donc effectué sur le terrain un relevé et un échantillonnage minutieux et complet (coupes verticales et latérales) des gisements spilitiques les plus intéressants de la couverture sédimentaire (en faisant abstraction des gisements trop tectonisés ou trop restreints) , de la totalité du complexe filonien basique du secteur méridional du massif et enfin d'un bon nombre d'autres filons basiques isolés .(Valbonnais, Glacier Noir etc...)

Partant de ces " documents de base "nous avons dépouillé près de 700 lames minces nous permettant de suivre " pas à pas " les variations minéralogiques et structurales de ces formations.Sur les coupes les plus significatives,250 analyses chimiques (effectuées soit sur le quantomètre du CRPG ,soit par voie humide au laboratoire de chimie de l'Institut Dolomieu) nous ont permis de mener à bien le traitement statistique des données analytiques . Chaque fois qu'il fut nécessaire , au cours de cette étude , nous avons complété nos données chimiques en effectuant nous-mêmes par Fluorescence X les dosages de Rb , Sr (sur près de 300 échantillons) et de K , Ca (sur 80 échantillons environ).

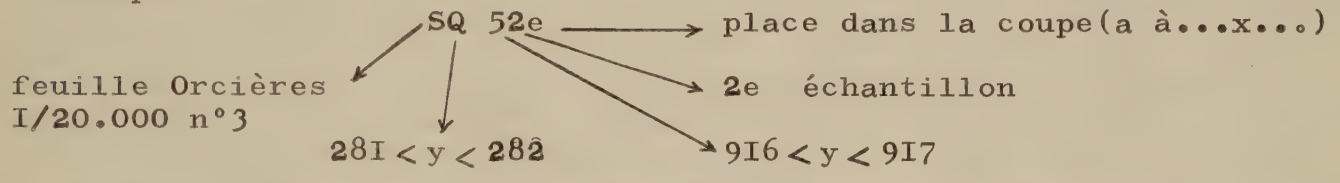
Enfin sur certaines coulées spilitiques , de même que pour les horizons intercalaires qui sont composés de minéraux très finement cristallisés (souvent cryptocristallins et non discernables par les méthodes optiques) nous avons utilisé la diffraction X pour leur détermination en effectuant nous-mêmes près de 200 diagrammes soit sur roches totales , soit sur minéraux triés . Par cette technique, nous avons en outre établi la composition des chlorites de l'ensemble volcanique et hypovolcanique (inconnue jusqu'alors) et déterminé l'état de cristallinité des micas .

D. PREAMBULE

D 1. Numérotation des échantillons

Dans notre étude nous avons repris la numérotation très pratique utilisée par Le FORT (1971) dans ses travaux qui permet de situer immédiatement le lieu de provenance de l'échantillon . Celui-ci est désigné par une suite de 4 ou 5 lettres ou chiffres , la première lettre désignant une ou plusieurs cartes au 1/20.000 , la deuxième lettre et le premier chiffre désignant respectivement l'abscisse et l'ordonnée du kilomètre carré considéré (dans le carroyage Lambert III) et enfin le ou les derniers chiffres sont attribués dans l'ordre du prélèvement dans le kilomètre carré , pour les coulées ou filons sur lesquels nous avons réalisé une coupe , nous avons attribué en dernier une lettre minuscule pour figurer la place de l'échantillon dans celle-ci*;

Exemple:



la planche 3 montre l'assemblage des coupures IGN au I/20.000 et la numérotation utilisée.

D 2. Différents symboles utilisés dans cette étude

A l'aide de divers signes nous avons essayé de symboliser dans le texte et sur les tableaux et / ou figures les différentes analyses qui ont pu être effectuées sur les échantillons récoltés;nous avons ainsi en astérique suivant le n°de l'échantillon .

- ● - échantillon sur lequel a été effectué une analyse chimique.
- ▲ - échantillon sur lequel nous avons effectué en fluorescence X les dosages K, Ca , Rb , Sr (ou seulement Rb , Sr si l'échan-tillon possède une analyse chimique).
- ■ - étude radiocristallographique sur roches totales ou sur minéraux triés .

Pour les données provenant de cette dernière étude nous avons adopté les symboles suivants:

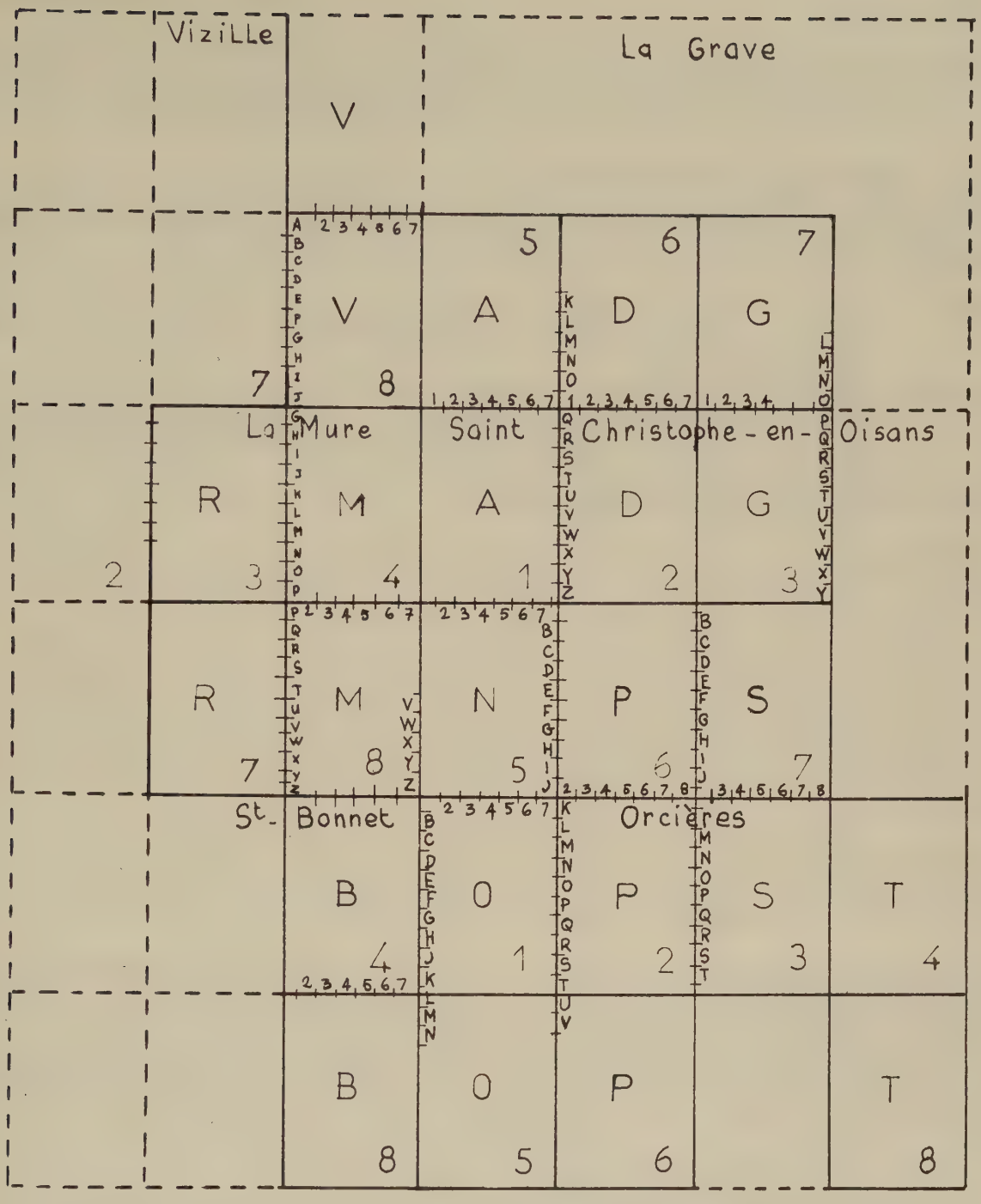
\+ + minéral très abondant
\+ minéral abondant
\- minéral présent
\- - minéral en traces

il s'agit ici d'abondance estimée sur un diffractogramme R X de roche totale .

---

* Les échantillons récoltés antérieurement par N.VATIN-PERIGNON et J.L. TANE ne possèdent pas cette nomemclature.

Des minéraux en faible quantité (épidotes;apatites ,etc...) ou d'altération (leucoxène,iddingsite) ou encore à hydrates de fer dominants (limonites) ou simplement diffractant mal (oxydes métalliques), bien que décelables par les méthodes optiques, n'apparaissent pas toujours à l'analyse aux rayons X sur roche totale.



AGENCEMENT DES COUPURES I.G.N
AU 1/20.000ème ET NUMEROTATION DES ECHANTILLONS.

(D'après. P. LEFORT 1971)

PL.I. 3

E.TERMINOLOGIE

Avant de commencer l'étude pétrographique des laves et des filons il serait bon de définir exactement les principaux termes que nous allons être amenés à employer au cours de cette étude .

E 1 . Textures et Structures .

Ces termes seront employés ici avec le sens habituel aux auteurs français.

Texture = aspect de la roche à l'oeil nu. Par exemple textures vacuolaires , bréchiques , sphérolitiques , scoriacées ,litées, compactes,etc...

Structure=aspect de la roche vue au microscope, relations spatiales entre les divers constituants . Les différents types seront essentiellement ceux définis par J.JUNG (1958).

E 1.1. Structure doléritique (s.l)

J.JUNG définit la structure doléritique comme un assemblage de grandes lattes feldspathiques rectangulaires et visibles à l'oeil nu , les intervalles étant remplis par une mésostase quelconque .

En fait trois variétés peuvent être distinguées:

-structure poecilitique: grandes plages de pyroxènes englobant des baguettes feldspathiques automorphes (allongées selon 100),la longueur des lattes feldspathiques étant inférieure à l'allongement des pyroxènes.

-structure ophitique: les lattes feldspathiques appuyées les unes contre les autres ménagent entre elles des interstices occupés uniquement par du pyroxène largement cristallisé .

-structure intersertale: les interstices entre les lattes feldspathiques disposées comme dans la structure ophitique sont occupés par des minéraux secondaires (chlorite;calcite,etc...).

Ces distinctions sont souvent subjectives et il ne faut pas oublier que " l'on peut voir fréquemment le passage d'une de ces structures à l'autre dans l'étendue d'une même lame mince " (JUNG 1958).

E 1.2.Structure microlitique :

réalisée presque uniquement dans les faciès effusifs ou en bordure des gites hypovolcaniques. Trois variétés sont également distinguées :

- structure microlitique aphanitique: la lave contient uniquement des microlites flottant au sein de la mésostase,laquelle peut être vitreuse ou cryptocristalline.

-structure microlitique fluidale: les microlites tous orientés de la même façon matérialisent l'écoulement de la lave.

-structure microlitique porphyrique : des phénocristaux feldspathiques et / ou ferromagnésiens sont enrobés dans la mésostase à microlites.

E.1.3 Structure lamprophyrique:

Les minéraux ferromagnésiens pneumatogènes automorphes notamment mica-noir et hornblende flottent dans une pâte de type microgrenue constituée d'un mélange en proportions variables de feldspath, quartz , mica noir ou hornblende .

E 1.4 Facies paléovolcanique: la roche ne montre plus qu'un agrégat crypto-cristallin de quartz , feldspaths et minéraux de basse température , généralement colorés en rouge par de l'hématite ou en vert par de la chlorite .

E 2. Les spilites .

Ce sont des laves considérées comme anormales du point de vue pétrographique ,elles présentent à la fois des caractères de roches basiques (olivine,pyroxènes ou leurs produits de pseudomorphose , teneur en silice comparable à celle des basaltes) et des caractères de roches acides(elles sont déficitaires en calcium et les feldspaths présents sont alcalins).

-Terminologie des spilites.

Nous n'aborderons ici que brièvement l'historique de la notion de spilite car elle a été faite notamment par VALLANCE(1960) et AMSTUTZ (1968), nous rappellerons seulement,de façon schématique,le sens des différents termes utilisés jusqu'alors.

Notons tout d'abord que le terme spilite fut créé par BRONGNIART en 1827 , en se basant uniquement sur des critères macroscopiques : roche d'aspect aphanitique de teinte verdâtre à violacée.

+ Dans la planche 4 nous avons essayé de résumer la nomenclature basée sur des critères macroscopiques et microscopiques.

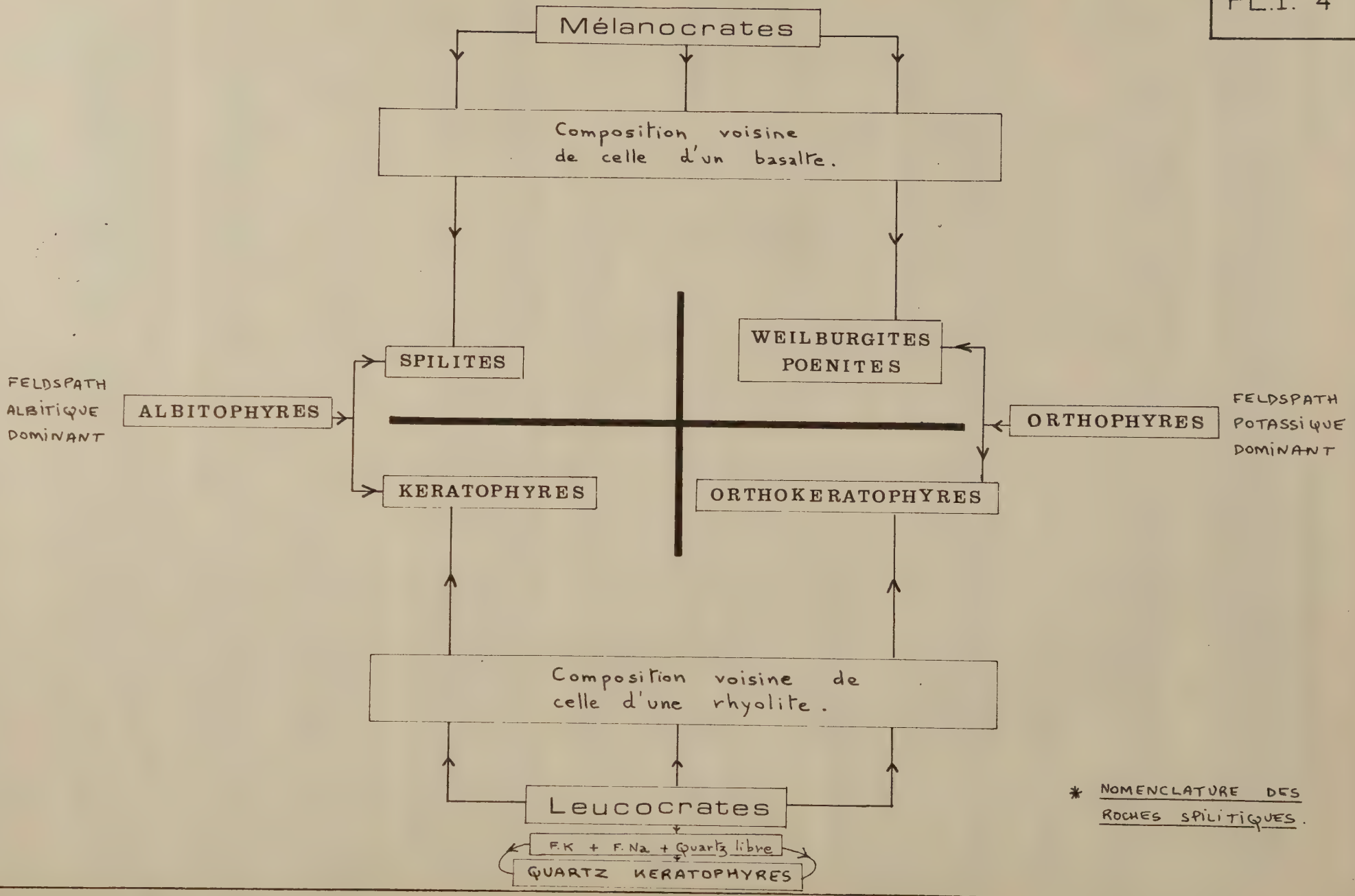
+ Les spilites des " géologues alpins " (séries alpinotype).
Dans cette étude nous adopterons la position de TANE(1962)de ne pas donner de nom particulier aux différents faciès rencontrés et de leur appliquer simplement le terme général de " lave spilitique "*
On appellera donc ainsi toute lave présentant des caractères dits " caractères spilitiques ou albitophyriques" à savoir essentiellement:

une paragénèse de type hydrothermal: feldspaths alcalins(généralement albite B.T),chlorite , oxydes de fer et carbonates , les minéraux ferromagnésiens habituels des laves (olivine et pyroxène)étant rares ,absents ou très altérés (pseudomorphosés).
- nous mentionnerons ici la récente définition très concise,des spilites qui a été donnée par CANN(1969 p.1) dans son étude sur les spilites draguées sur la ride de Carlsberg :" roches à structure basaltique dans lesquelles la minéralogie du faciès schistes verts est complètement ou presque complètement développée ".

---

* Nous abandonnerons complètement à la suite de nombreux auteurs le terme de mélaphyre etc...qui désigne des roches identiques (même composition , même génèse) que séparent uniquement des phénomènes de vieillissement : dévitrification,silicification,chloritisation etc...

PL.I. 4



* NOMENCLATURE DES ROCHES SPILITIQUES.

Cette définition a bien sûr le défaut de contenir implicitement une idée génétique mais elle a le mérite de poser en quelques mots le problème réel des laves spilitiques .

E 3. Les filons basiques.

E 3.I - les dolérites

Comme nous le verrons par la suite , la répartition des dolérites en plusieurs groupes ne s'est faite qu'à la suite de leur étude pétrographique , il est donc nécessaire de justifier le choix de ce terme de préférence à celui de diabase .

-dolérites.

Sous ce terme nous regroupons toutes les roches à composition voisine de celle d'un basalte et à structure doléritique , elles contiennent essentiellement les minéraux suivants : plagioclase calcosodique ,pyroxène et / ou amphibole. Ces roches sont caractéristiques des gites hypovolcaniques : filons, sills , necks et petits massifs (JUNG 1958) .Le terme de " dolérite " est destiné à remplacer celui de " diabase "(et par extension ophite) qui est employé actuellement avec des significations trop différentes .(VII Cong.géol.int. Paris 1900)

- diabases.

Nom donné par BRONGNIART 1807 . HAUSMANN (dans DARS 1961) les désigne comme des roches éruptives anciennes à plagioclase ,augite et chlorite , à structure souvent ophitique. Il distingue des diabases s.str. et des diabases à olivine . L'ophite est un terme donné par PALASSOU (1819) aux " diabases des Pyrénées à structure caractéristique et à augite ouralitisée..."

Le terme de diabase fut souvent employé de diverses façons.On désignait ainsi :

- des roches effusives anciennes ,
- des roches effusives altérées ,
- des dolérites ouralitisées à faciès de roches vertes (JUNG 1958).

En outre les allemands et les américains l'utilisent seul et semblent souvent ignorer le nom de dolérite (par exemple TURNER et VERHOOGEN 1951).

On voit donc toute la confusion qui règne sur ce problème de nomenclature.

Aussi dans cette étude quand nous parlerons de " dolérite " ce sera au sens décrit au début de ce paragraphe ,mais il faut se rappeler que ce terme a , dans la littérature actuelle , les équivalents suivants :

terminologie	roche intrusive
allemande	diabases
américaine	diabases
anglaise	dolérite
française	dolérite
soviétique (Semenenko)	gabbro

Ces termes différents s'appliquent maintenant à des roches de même origine et non à des faciès paléovolcaniques ou néovolcaniques ,ou encore à des faciès d'altération.

E 3.2. les lamprophyres.

Pour les définir nous nous référerons aux travaux de VELDE (1969). Ce sont des roches quartzitiques à feldspathoïdiques qui, dans les conditions de mise en place hypovolcaniques, donnent comme premier produit de cristallisation un péridot suivi par la cristallisation abondante d'un minéral hydroxylé : mica noir (phlogopite ou biotite magnésienne) ou amphibole brune . Ces minéraux de première phase flottent dans une pâte microgrenue constituée d'un mélange de quartz feldspaths et micas noirs ou amphibole . Des minéraux accessoires peuvent s'y ajouter en phénocristaux et / ou dans la pâte :
diopside , apatite , carbonates .
On peut classer les lamprophyres en fonction du minéral ferromagnésien présent et de la nature du feldspath dominant dans la pâte. Les 4 principaux types sont réunis dans le tableau ci-dessous (d'après VELDE 1969)

	feldspath alcalin potassique	plagioclase
Biotite magnésienne à phlogopite	M I N E T T E	K E R S A N T I T E
amphibole brune	V O G E S I T E	S P E S S A R T I T E

E 4. Les Formations Volcano-Sédimentaires.

Par formations volcano-sédimentaires nous entendons des roches formées par sédimentation de produits d'explosions (cendres, scories; lapillis) dans un milieu marin ou lagunaire où se déposent également des sédiments variés: dolomies, calcaires dolomitiques , argiles etc...

Ces formations volcano-sédimentaires sont à distinguer:

-- des formations volcano-détritiques produites par sédimentation d'éléments de roches volcaniques remaniées après érosion,

--des tufs (s.str) qui ne contiennent pas de matériel sédimentaire et sont uniquement composés de cendres volcaniques déposées en milieu continental.

Toutes ces formations se présentent en niveaux étroitement liés aux coulées et correspondent à des phénomènes explosifs précédant, terminant ou accompagnant des stades effusifs . Par simplification nous les appellerons toutes, au cours de nos descriptions , des " horizons intercalaires " .

P R E M I E R E P A R T I E

ETUDE MINERALOGIQUE ET PETROGRAPHIQUE

Rédaction: R.AUMAITRE

Dans un premier temps nous étudierons les laves spilitiques où, pour chaque gisement (coulées et horizons intercalaires) , nous donnerons: la situation géographique , la coupe détaillée des diffé--rentes formations et leur aspect macroscopique, les résultats des études microscopiques et radiocristallographiques et enfin ,pour les gisements importants ou particulièrement intéressants un rapide résumé des principales observations . Cette partie consacrée aux laves se terminera par une synthèse minéralogique et pétrographique des gisements étudiés.

En second lieu nous étudierons les différents ensembles de filons basiques groupés sur des critères pétrographiques . Nous détaillerons quelques affleurements particulièrement intéressants et ferons la synthèse des observations recueillies .

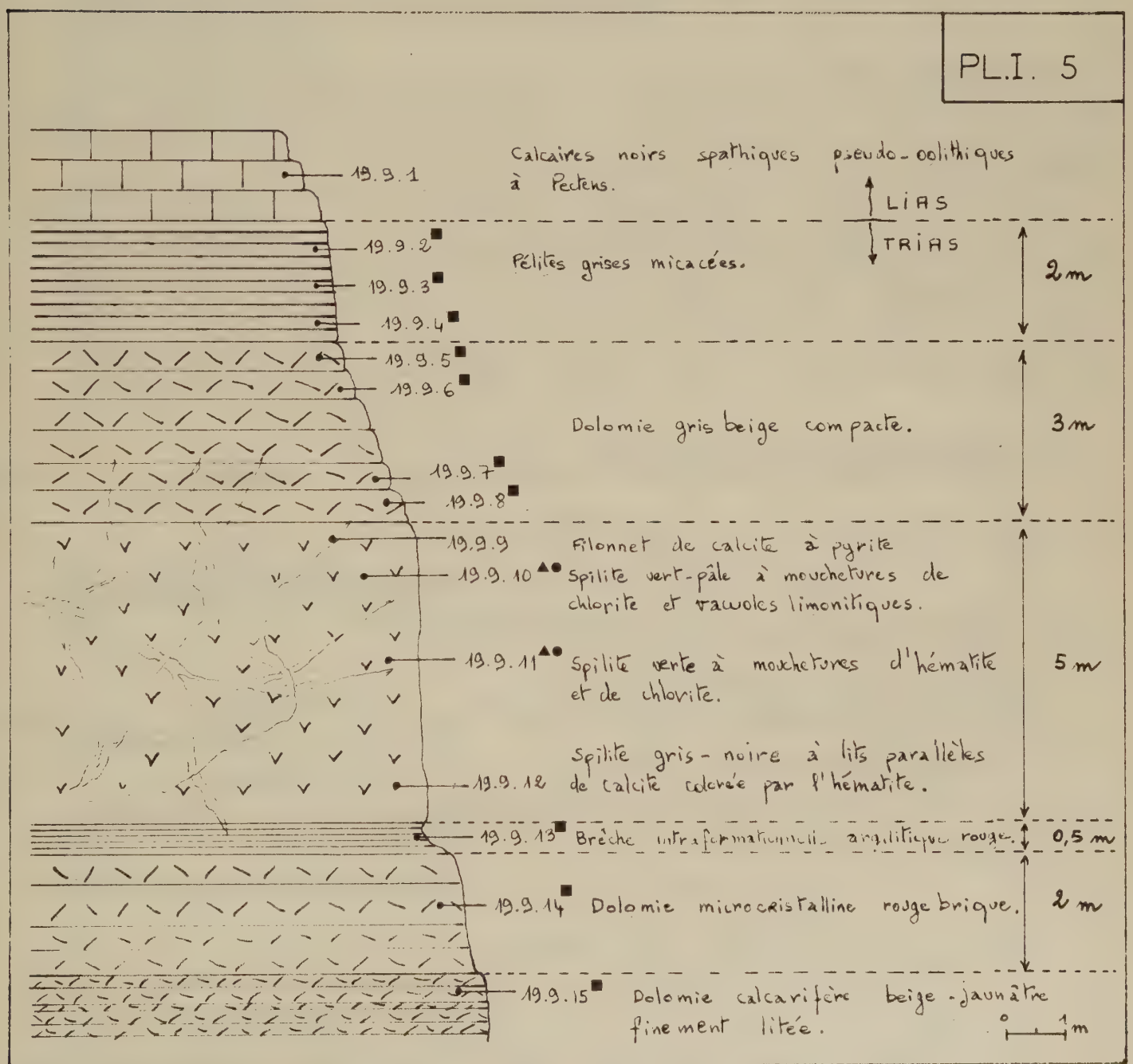
En dernier lieu nous conclurons l'étude minéralogique et pétrographique globale des laves et des filons en essayant de mettre en évidence leurs relations.

1.ETUDE DES LAVES SPILITIQUES.

1.1 Etude des différents gisements - coupes

Nous décrirons en allant du N au S les principaux gisements spilitiques que nous avons étudiés sur la bordure occidentale du massif des Ecrins-Pelvoux.

1.11 COTE-DURE feuille XXXIII-36 ,la Mure N°1 1/20.000
La coupe est située sous le Pérollier (2I84m)
X=876,10 Y=304,15 Z=I800 m



On ne distingue dans ce gisement qu'une seule coulée interstratifiée au sommet du Trias .

-formations de base l'étude aux rayons X des formations I5.I4.I3 nous donne respectivement les constituants suivants:

I5.dolomite . calcite. quartz.chlorite. muscovite $2M_1$
chlorite : $Mg_{2,32}\ Fe_{2,30}\ Al_{I,38}\ (Si_{2,62}Al_{I,38})O_{IO}(OH)_8$ R=0,5 Ripidolite

I4.dolomite .quartz.chlorite.phengite.hématite.calcite
chlorite : $Mg_{2,96}\ Fe_{I,70}\ Al_{I,34}\ (Si_{2,66}Al_{I,34})O_{10}(OH)_8$ R=0,37 Ripidolite

I3.calcite . quartz.hématite.chlorite.muscovite $2M_1$
chlorite : $Mg_{2,28}\ Fe_{2,35}\ Al_{I,57}\ (Si_{2,63}Al_{I,37})O_{10}(OH)_8$ R=0,5I Ripidolite

-Coulée spilitique.
La structure est intersertale en lattes déchiquetées d'albite à macle polysynthétique commençant à être envahies par des vermicules de chlorite,le long des plans de clivage et des fractures; on note quelques petites plages d'orthose .
La mésostase est essentiellement chloriteuse mais contient également de l'hématite et de l'ilménite ; On observe des amas chloriteux interstitiels pseudomorphosant vraisemblablement d'anciens ferromagnésiens (péridots?),quelques plages de calcite diffuse associée à des limonites . La base de cette coulée est microlitique et presque entièrement chloritisée.Des veines de calcite et hématite parallèles déterminent un pseudo-litage.Les péridots sont uniquement pseudomorphosés par de l'hématite.La mésostase est chlorito-ilméni-tique.

- Les formations supérieures sont constituées par :
-un niveau dolomitique microcristallin donnant aux Rayons X

dolomite .quartz .chlorite.phengite .calcite
chlorite : $Mg_{2,9}\ Fe_{1,9}\ Al_{I,2}(Si_{2,8}\ Al_{I,2})O_{10}(OH)_8$ R=0,4 Ripidolite

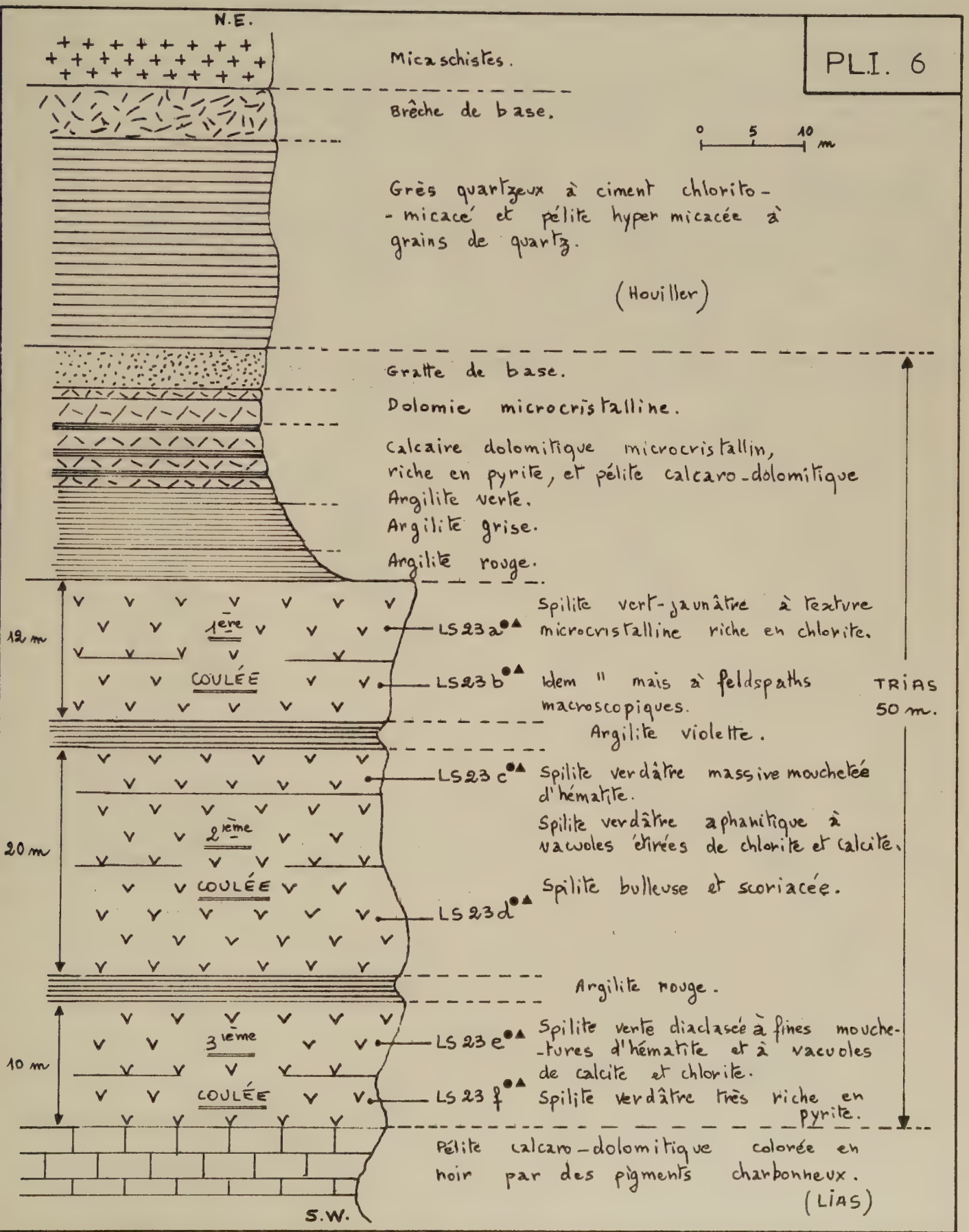
- un niveau pélitique micacé donnant aux rayons X
4- quartz .goéthite.muscovite $2M_1$ -chlorite.
3- chlorite.quartz .muscovite $2M_1$
chlorite: $Mg_{0,95}Fe_{3,7}Al_{I,35}(Si_{2,65}Al_{I,35})O_{IO}(OH)_8$ R=0,8 Aphrosidérite
2- muscovite $2M_1$ .quartz .chlorite
chlorite: $Mg_{0,27}Fe_{4,4}Al_{I,33}(Si_{2,67}Al_{I,33})O_{10}(OH)_8$ R=0,94 Bavalite

- les calcaires noirs spathiques à Pectens appartenant probablement au Rhétien .

1.1.2 ORIS EN RATTIER feuille XXXIII -36 La Mure n°2 I/20.000

Située au-dessus du village des Pras entre les ruisseaux de Teissonnière et des Sillonnières, la coupe débute au point de coordonnées X=876,6 Y=297,5 Z=1120 m

Il s'agit d'une série inverse, le Trias reposant ici directement sur les grès houillers.



-1ère Coulée

La structure est sub-ophitique , les lattes de plagioclase sont en grande partie envahies par la chlorite , les interstices sont occupés par la chlorite (ripidolite en serpentin), par des plages de calcite et de quartz. Nombreux grains de magnétite plus ou moins oxydés en hématite, on note également la présence de limonite.

-2èmé Coulée

Structure intersertale: lattes de plagioclase déchiquetées en voie de chloritisation, fantômes de ferro-magnésiens. Nombreux grains de magnétite , hématite, ilménite , chlorite intersertale, calcite diffuse Le sommet montre une structure plus fine et des vacuoles de calcite.

-3ème Coulée

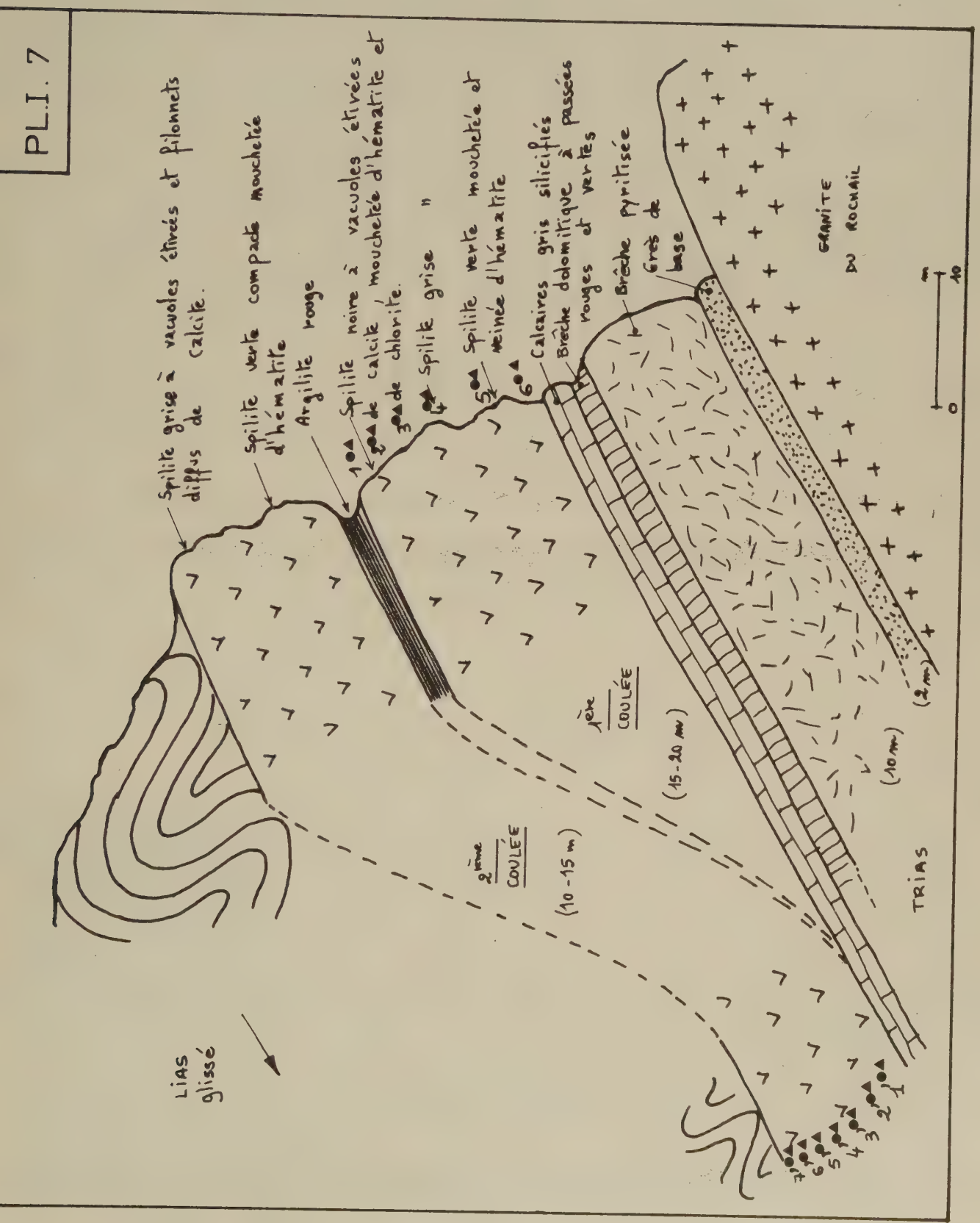
Peu différente de la deuxième. La structure est intersertale: lattes d'albite BT (An_5) à macles polysynthétiques; nombreux fantômes de ferro-magnésiens arrondis; abondance de pyrite et limonite; grains d'hématite; quelques petites vacuoles(1 à 2 mm) à calcite et / ou quartz , plus ou moins étirées.

- Sur des coupes latérales on peut observer : des niveaux volcano-sédimentaires à la base de la première coulée ,et des horizons intercalaires dolomitiques.

LES GISEMENTS DU VALBONNAIS

1.1.3 - LAC DU VALLON feuille XXX-III - 36 La Mure n°3 1/20.000
La coupe se situe à l'extrémité N - NW du Lac du Vallon.
X=890,0 Y=304,2 Z=2510m

PL.I. 7



- Première Coulée

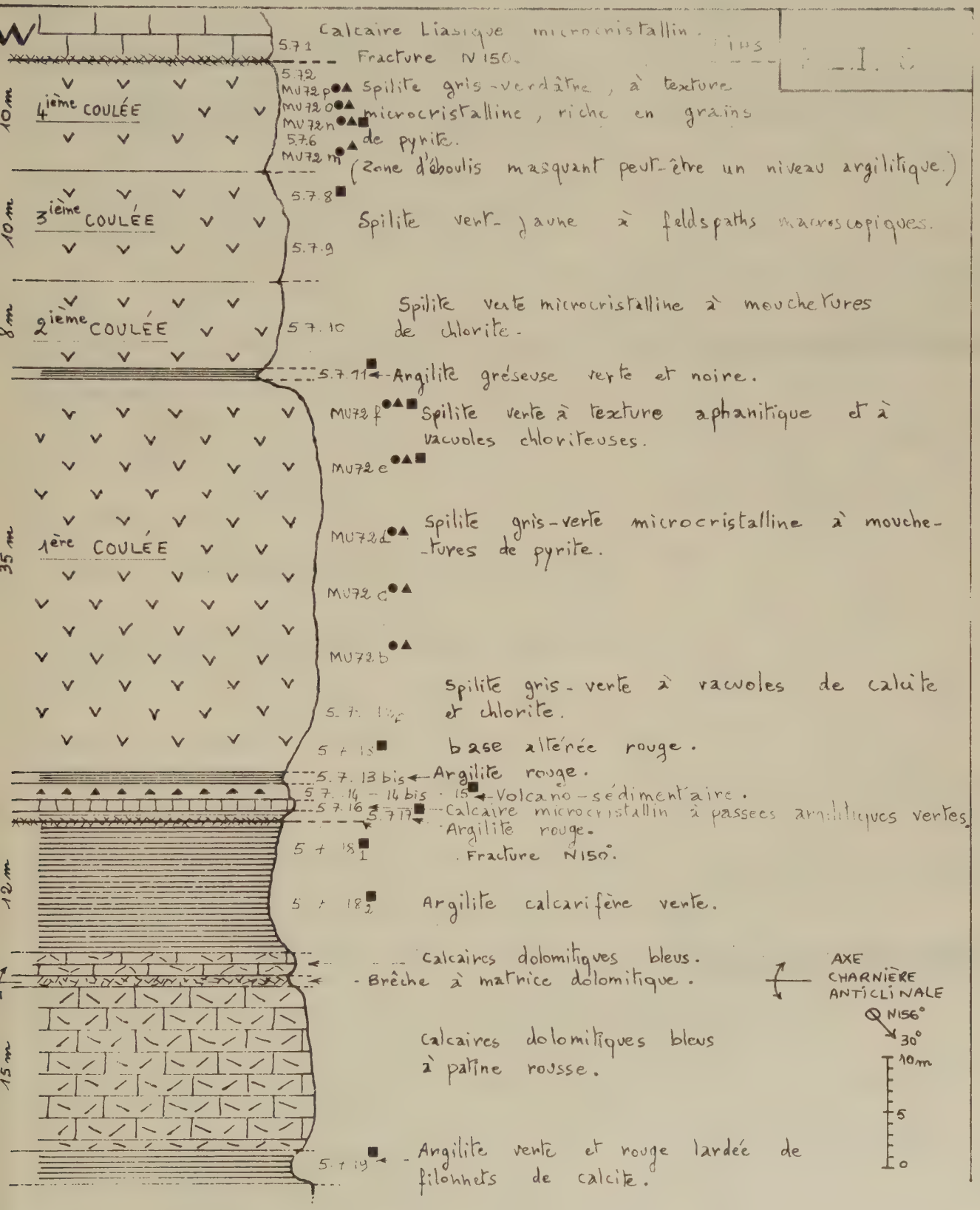
La structure est microlitique fluidale à microlitique intersertale; les microlites albitiques ou orthosiques sont envahis par la chlorite, la mésostase est opaque: ilménite, hématite, magnétite et très peu de chlorite . Nombreux fantômes de phénocristaux de péridots ($\approx$ 1mm) parfois automorphes; zônes à vacuoles calcitiques et petits filonnets de quartz et calcite . Certains échantillons renferment des veinules à hématite + calcite + quartz (structure en plumes) .

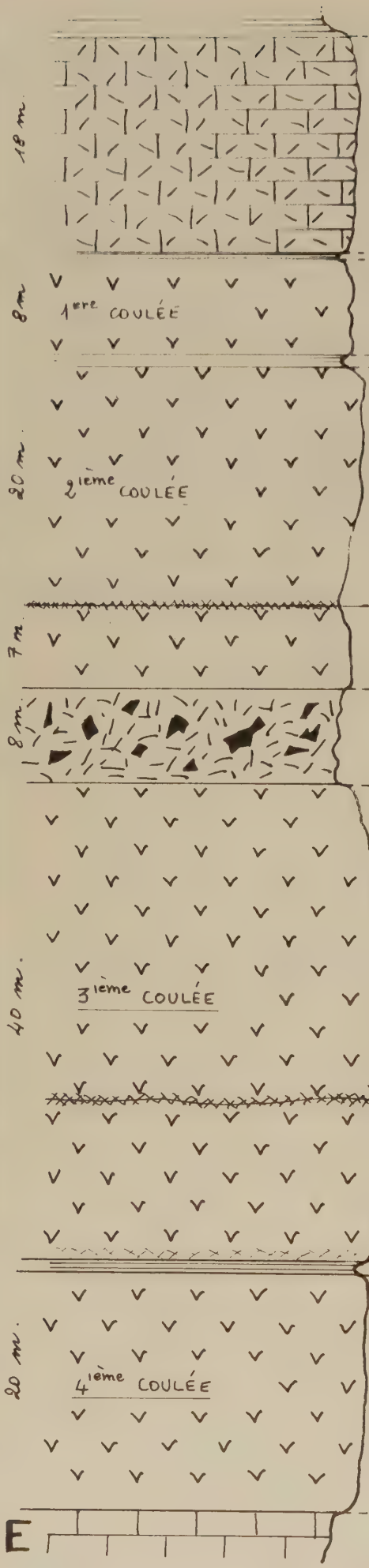
- Deuxième Coulée

A peu près identique à la première, mais la mésostase est ici à dominante chloriteuse . Les échantillons 4' et 7' montrent, en outre, des lattes effilochées d'orthose . Cette coulée est aussi riche que la précédente en plages et vacuoles de quartz et calcite, ainsi qu'en fantômes de péridots ($>$ 2mm) pseudomorphosés par de la calcite + chlorite et bordés de magnétite et hématite .

1.1.4 COL D'HURTIERES (1800 m) feuille XXXIII -36 La Mure n°7 I/20.000

La coupe est faite d' W en E ,le long du sentier qui conduit d'Entraygues au sanctuaire de la Salette et franchit les spilites par de petits tunnels. Celles-ci dessinent un anticlinal à coeur triasique . X = 885,9 Y = 291,4 Z = 1800 m





Calcaires dolomitiques bleus, à patine jaune - verdâtre, très schistoseés. — TRIAS

MU 12 a ●▲■ Argilites rouges.

5.7.21$_1$ Spilite verte schistoseée à filonnets de calcite.

5.7.21$_2$ Spilite verte compacte à vacuoles et filonnets de calcite et mouchetures d'hématite.

5.7.22 ■ Argilite gréseuse rouge à nodules.

5.7.23$_1$

MU 12 g ●▲ Spilite verte à texture microcristalline, très riche en fins vermicules de chlorite.

MU 12 h ●▲

5.7.24$_1$ Spilite verte schistoseée à plages pyriteuses.

5.7.24$_2$ Spilite verte à mouchetures de chlorite et vacuoles + ou - étirées de calcite.

Volcano-détritique : Brèche calcaro-spilitique.

MU 72 i ●▲ Spilite vert-claire fine à mouchetures de chlorite.

5.7.25$_2$ Spilite verte à petites pustules chloriteuses.

MU 72 j ●▲ Spilite verte compacte et grenue.

5.7.25$_4$ Spilite verte, faciès à pustules chloriteuses. Zone fracturée.

MU 72 k ●▲ Spilite verte compacte et grenue.

5.7.25$_6$ Spilite verte grenue à feldspaths macroscopiques. (type Doléritique).

5.7.26 ■ Argilite noire.

5.7.27$_1$ Spilite verte sombre à vacuoles.

5.7.27$_2$ Spilite verte sombre grenue riche en ferromagnésiens et filonnets de calcite.

5.7.27$_3$

5.7.27$_4$ Spilite vert-jaune à enclaves chloriteuses (Ripidolite) (5 mm.)

Calcaire liasiques microcristallins. — LIAS

- Première Coulée
- à l' W (35 m.), structure intersertale en fines lattes d'albite (0,3 mm) maclées polysynthétiques et phénocristaux (≈ 2 mm de long) quelques lattes d'orthose, mésostase chloriteuse abondante à ilménite et baguettes ou grains (parfois > à 1 mm) de magnétite. Fantômes de gros ferro-magnésiens surtout péridots; coeur chloriteux et bordure d'hématite + magnétite . Vacuoles de calcite et calcite diffuse.

MU 72e : albite BT(An_5). chlorite . orthose . calcite . quartz . hématite

chlorite → $Mg_{3,2}Fe_{1,6}Al_{1,2}(Si_{2,8}Al_{1,2})O_{IO}(OH)_8$ R=0,33 Ripidolite

la base de cette première coulée montre, sur 1,50 m., une structure obscurcie par la chloritisation* et la séricitisation des plagioclases

- à l' E (8m.), seule la structure, de type sub-ophitique et très oblitérée (chlorite-séricite), diffère de la partie W; les plagioclases sont également tectoniquement déformés.

Le coeur triasique de la structure anticlinale paraît essentiellement composé de deux termes : argilites vertes (chlorite) ou rouges (hématite) et calcaires dolomitiques bleus, avec une nette prédominance de ces derniers ; présence également d'une assise volcano-sédimentaire inférieure à la première coulée. L'étude radiocristallographique de ces formations nous montre toujours la présence de : quartz , calcite , chlorite , phengite , hématite , dans des proportions variables . La composition des chlorites (ferrifères) varie de la façon suivante :

$Mg_{2,46}Fe_{2,3}Al_{I,24}(Si_{2,76}Al_{I,24})O_{IO}(OH)_8$ R=0,48 Ripidolite

$Mg_{0,46}Fe_{4,3}Al_{I,24}(Si_{2,76}Al_{I,24})O_{IO}(OH)_8$ R=0,9 Bavalite

- Horizon intercalaire 1-2
- à l' W (1m) : argilite gréseuse à petits filonets de calcite colorés par de la chlorite.
- à l' E (1m) argilite gréseuse colorée en rouge par l'hématite

MU 72f quartz chlorite phengite calcite hématite

chlorite : $Mg_{2,16}Fe_{2,7}Al_{I,14}(Si_{2,86}Al_{1,14})O_{10}(OH)_8$ R=0,55 Pycnochlorite

- Deuxième Coulée
- à l' W (8m) : structure intersertale grandes lattes d'albite à macles polysynthétiques dans une mésostase riche en chlorite et à ilménite et hématite en fines baguettes ; plages de calcite .

- à l' E (27m) la roche est identique mais les plagioclases sont envahis par la chlorite et on voit de nombreux fantômes de péridots et pyroxènes , des agrégats de calcite, des vacuoles chloriteuses, de l'ilménite abondante, de la pyrite et de l'hématite .

- Horizon intercalaire 2-3
- à l' W pas présent

- à l' E (8m) : volcano-détritique , brèche calcaro-spilitique.

---

* (envahissement par la chlorite)

Pl.I. 9

LEGENDE

Photo 1 - Col d'Hurtières (3ème coulée E, p.30) - MU 72 i -
-Lumière polarisée -

Ancien phénocristal feldspathique, complètement albitisé, montrant une structure en échiquier ; la chlorite s'est insinuée le long de tous les plans de clivage.

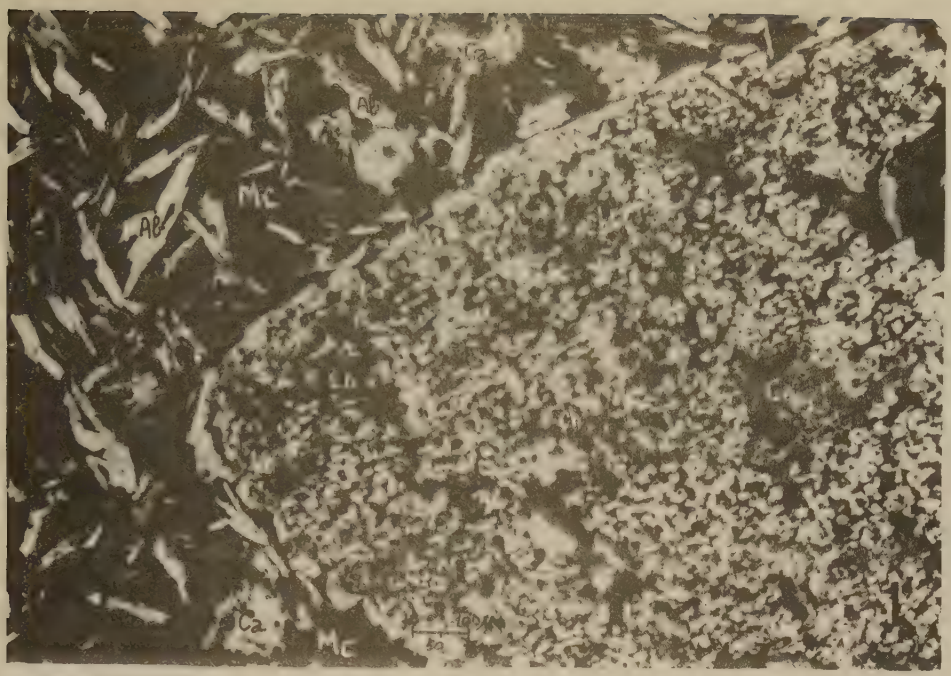
Mc: mésostase chloriteuse, Ab: lattes d'albite,
Ch: chlorite ,Ca: calcite.

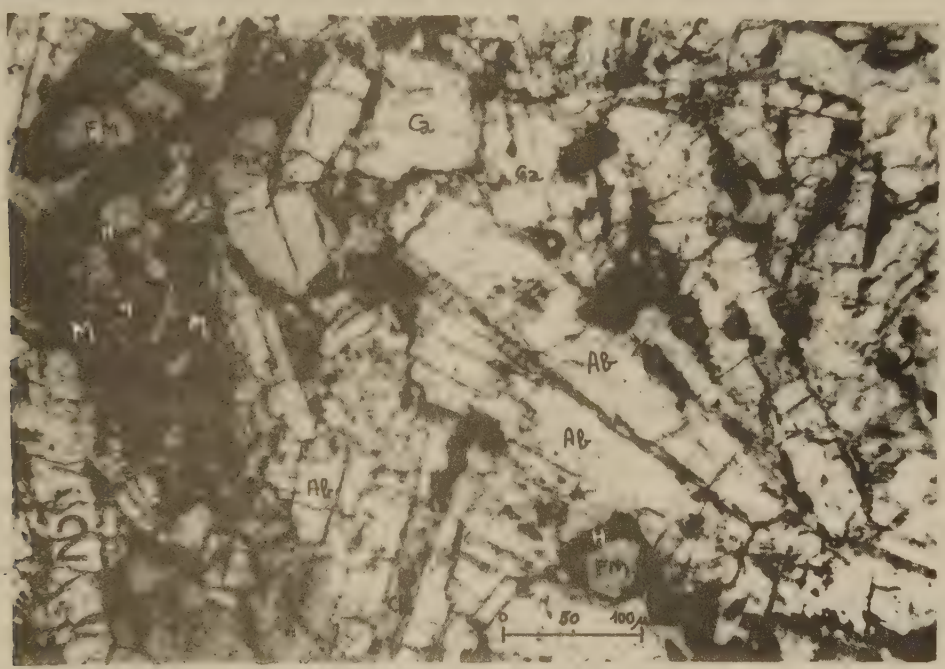
Photo 2 - Col d'Hurtières (4ème coulée W, p.30) - MU 72 o -
-Lumière naturelle-

Structure subophitique en grandes lattes d'albite(An $_{5}$) maclées(Ab). Les interstices sont occupés par des ferromagnésiens (FM) entièrement pseudomorphosés par de la chlorite et bordés d'hématite (H), nombreuses plages de calcite (Ca) et baguettes de magnétite (M).

Photo 3-Col de Près-Clos (4ème coulée p.34) - MV 76 g. -
-Lumière naturelle.

Structure intersertale où les lattes albitiques (Ab) montrent un coeur envahi par la chlorite (Ch).
Péridot (P) automorphe uniquement pseudomorphosé par de la chlorite , mésostase uniquement chloriteuse (Mc).


Ca
Ab
Mc
Ab
Ca
Mc


Fm
Ca
Ca
Ab
Ab
Ab
Fm
0
50
100

Mc

- Troisième Coulée
- à l' W (10m) structure intersertale à phénocristaux d'albite(> 2mm) à macles polysynthétiques et tectoniquement déformés; quelques lattes d'orthose, mésostase chloriteuse (ripidolite en serpentin) + pyrite et limonite. Nombreux grains automorphes (> 1mm) de magnétite pyritisées avec de l'hématite sur les bordures et dans les clivages.

5.7.8 : albite BT (An_o) chlorite.quartz.orthose.pyrite

chlorite: $Mg_{3,3}Fe_{1,6}Al_{1,1}(Si_{2,9}Al_{1,10})O_{10}(OH)_8$ R=0,33 Ripidolite

- à l' E (40m) :structure intersertale à phénocristaux, belles lattes (0,3mm de long) et phénocristaux(0,8mm) d'albite à macles polysynthétiques; quelques plages plus floues d'orthose. On note des anciens phénocristaux feldspathiques à structure en échiquier (cf.PL.I.9 photo n°1) complètement albitisés . La chlorite s'est insinuée régulièrement le long de tous les clivages orthogonaux, la mésostase est chloriteuse avec de l'ilménite et quelques plages de pistachite,seule ou associée à de la calcite.

- Horizon intercalaire 3-4
- à l' W :niveau argilitique très mince disparaissant sous une zône d'éboulis.

- à l' E (1m):argilites noires micacées riches en grains de quartz, fond chloriteux .

5.7.26 : quartz .calcite .chlorite .phengite

chlorite : $Mg_{1,56}Fe_{3,1}Al_{1,34}(Si_{2,66}Al_{1,34})O_{10}(OH)_8$ R=0,66 Ripidolite

- Quatrième Coulée
- à l' W (10m) la structure est sub-ophitique (cf.PL I.9 photo N°2): lattes limpides d'albite (An_5) plus ou moins trapues (1x0,2mm) à macles polysynthétiques ,quelques grandes lattes ou plages d'orthose. Les interstices sont occupés par des pyroxènes (augite) et / ou par de la chlorite (ripidolite en serpentin). Quelques olivines pseudomorphosées par la chlorite et bordées d'hématite. La roche est empâtée par les oxydes de fer, la pyrite(souvent automorphe) et surtout les limonites. Quelques agrégats de quartz .

MU 72n: albite BT (An_5).pyrite.orthose.chlorite.quartz.(mica)

- à l' E (20m): la structure est toujours sub-ophitique ,mais les lattes de plagioclase sont partiellement masquées par la chlorite (ϕ > 5mm);nombreux fantômes de ferromagnésiens (principalement péridots).

-SYNTHESE.-Cette coupe nous apporte quelques faits intéressants:
-énorme variation de l'épaisseur(rapport 1 à 4)des coulées et des horizons intercalaires de l'W vers l' E, sauf pour la 1ère coulée, plus importante sur le flanc W de l'anticlinal;
- structure d'ensemble de type assez "doléritique" (intersertale à sub-ophitique) à albite BT(An_{0-5}) et chlorite dominantes, on note également la présence d'augite interstitielle non transformée. Les minéraux opaques sont très abondants et variés : pyrite,ilménite, magnétite et limonites . Les fantômes de ferro-magnésiens (en particulier de péridots)sont presque toujours présents.La chloritisation de l'ensemble volcanique semble plus poussée à l'W qu'à l'E .
- les horizons intercalaires :formations volcano-détritiques, à ciment calcaire,et tufs possibles, laissent supposer un dépôt vraisemblablement marin.

1.1.5 COL DE PRES-CLOS (1971m) Feuille XXX-III- 36
La Mure n°7 1/20.000

Cette coupe est la plus complète que nous ayons du Trias à coulées spilitiques du Pelvoux.

Elle se développe,à partir du col, en direction de la croix de Rougny entre les points des coordonnées:

X=889,85 Y=290,52 Z=1975m
X=889,72 Y=290,62 Z=2035m

Compris entre les formations permiennes et liasiques ,le gisement montre 5 coulées spilitiques subverticales orientées N-NE/S-SE et séparées par des niveaux d'argilites ,ainsi que par des brèches volcano-sédimentaires sous-jacentes.

Nous avons complété la géologie d'ensemble et les corrélations stratigraphiques d'APRAHAMIAN (1968p.22)

1.1.5.1 Description de la série: (cf PL-I-10)

(1)- Grès et pélites rouges du Permien.
(2)- Grès grossiers grisâtres, montrant en lame mince de nombreux cristaux de quartz dont certains à faciès rhyolitique .5m.
(3)- Dolomies jaunes et dolomies cargneulisées(10m.).
(4)- Calcaires dolomitiques brèchiques à éléments volcaniques passant à des dolomies et calcaires dolomitiques blanchâtres à silex roses ,gris et noirs.(10m).
(5)- Ensemble de 30 mètres dont les premiers niveaux sont en partie masqués par la végétation comprenant successivement de la base vers le haut :
a-argilites rouge-violacées, parfois brun-jaunâtres, dolomitiques à texture souvent grèseuse et passées très compactes
b-cinérite spilitique gris-violacée à passées dolomitiques.
c-dolomie brèchique verdâtre.
d-dolomie schisteuse jaune.
e-microbrèche spilitique (0,30m).
f-argilite rouge(1m).
g-brèche spilitique(Im).
h-argilites violacées et jaunes (I,50m).
i-microbrèche spilitique (0,30m).
j-argilites jaunes puis rouges (Im50).
k-calcaire dolomitique(0,15m).
l-dolomie veinée de rose et de vert, à aspect de "marbre" avec niveau d'argilites rouges de(0,20m).
m-calcaire dolomitique clair(0,30m)
n-argilites très écrasées(0,50m).
(6)-20 mètres de dolomies grises à patine claire, en bancs de 50 à 80 cm.
(7)- Zone masquée(20m) se terminant par un niveau d'argilites roses à texture grèseuse vers le haut.
(8)- Série spilitique :
5 coulées séparées par des niveaux d'argilites sauf pour les deux dernières.

- Première Coulée(10m).
  - de 0 à 4 m.: spilite compacte mouchetée , noire et verte, aspect microcristallin avec de nombreuses veinules de calcite colorée en rose par de l'hématite.
  - de 4 à 8m.: spilite rougeâtre, microcristalline avec des mouchetures rouges (hématite) considérées comme altération des anciens minéraux ferromagnésiens.

- de 8 à 10m: spilite gris-rosée à veinules et vacuoles centimétriques calcitiques.
- Sommet de la coulée : spilite noire très compacte à aspect brèchique en altération, avec petites vacuoles millimétriques, étirées, calcitiques passant parfois à des filonnets de calcite à hématite.
- 30 centimètres d'argilite rouge schisteuse.

- Deuxième Coulée (8m)
  - Base : spilite violacée à grosses vacuoles (3 à 4 cm.)
  - Sommet : spilite grisâtre, mouchetée d'hématite; apparition de fines lattes de feldspaths.
  - 5m.d'argilite masquée par la végétation.

- Troisième Coulée (8m)
  - Base : spilite gris-violacée, mouchetée de ferromagnésiens épigénisés en hématite. A l'affleurement aspect schisteux.
  - Centre : d'aspect identique mais plus compact, se présente en relief sur la crête .
  - Sommet : disparaît sous la coupe herbue.
  - 5m. d'argilite masquée par la végétation.

- Quatrième Coulée (5m)
  - Coeur : spilite gris-verdâtre, massive à aspect microcristallin avec de très nombreuses vacuoles de chlorite et calcite à contours diffus.
  - Sommet : passage à la 5ème coulée par l'intermédiaire d'une vire herbeuse.

- Cinquième Coulée (5m)
  spilite vert-jaunâtre, très fine, à veinules de calcite et hématite.

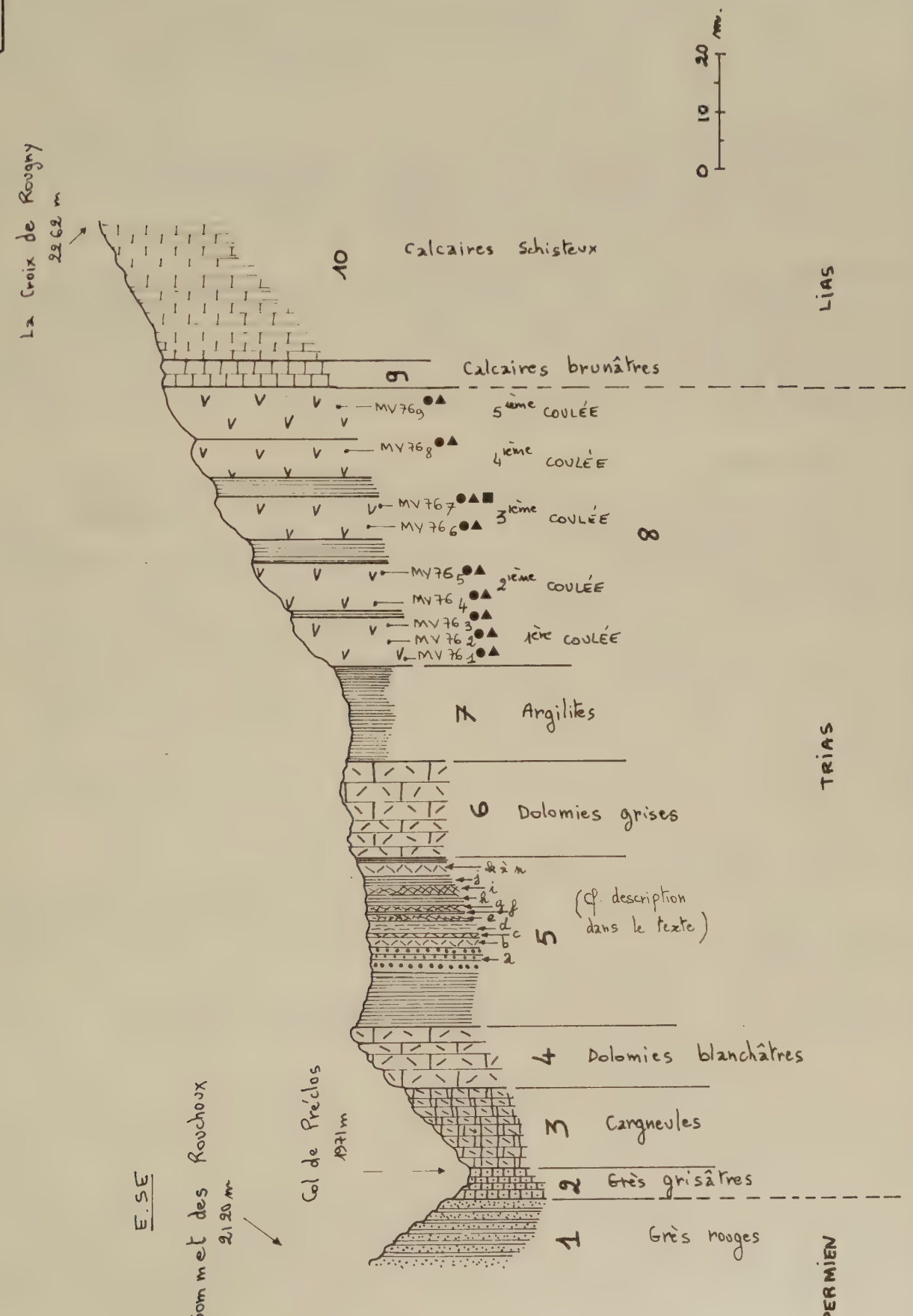
(9) - Contact avec les faciès du Lias calcaire par l'intermédiaire de quelques bancs de calcaires à cassure cristalline gris brunâtre, montrant des traces de coquilles.

1.1.5.2 Description microscopique.

- Première Coulée.
la structure intersertale s'observe sur toute l'épaisseur de la coulée. Les plagioclases sont étroits, enchevêtrés et souvent mal individualisés; les olivines sont pseudomorphosées par la chlorite et / ou l'hématite . Quelques pyroxènes de petite taille restent intacts. On note aussi l'abondance de magnétite, hématite, ilménite, et la présence de quelques ilôts de calcite et de pistachite, ainsi que quelques grains de sphène. A l'éponte supérieure la trame feldspathique devient microlitique, plus ou moins fluidale, et enserre des fantômes d'olivines et de pyroxènes .

- Deuxième Coulée.
la base montre une structure microlitique fluidale avec d'anciens phénocristaux de pyroxène aux formes nettes, mais complètement pseudomorphosés en calcite et chlorite microcristalline . La mésostase est hématitique. On note la présence de vacuoles de calcite à bordure chloriteuse et l'existence d'amas d'épidote. Le sommet, lui , montre une structure intersertale assez floue avec de grandes lattes d'albite maclée. On ne trouve pas de calcite dans la pâte de la roche.

PL I. 10


W.N.W
La Croix de Rougny
2262 m
E.S.E
Sommet des Rouchoux
2120 m
Col de Préclos
1971 m
0
10
20 m.
10 Calcaires schisteux
LIAS
9 Calcaires brunâtres
MV76g 5ième COULÉE
MV76f 4ième COULÉE
MV767 MV766 3ième COULÉE
8
MV765 2ième COULÉE
MV764
MV763
MV762 1ère COULÉE
MV761
7 Argilites
TRIAS
6 Dolomies grises
k à m
j
i
h
g f
e
d c
b
a
5
(cf. description dans le texte)
4 Dolomies blanchâtres
3 Cargneules
2 Grès grisâtres
1 Grès rouges
PERMIEN

- Troisième Coulée.
la structure est intersertale à subophitique: grandes lattes étroites et allongées d'albite, enserrant d'abondants cristaux d'augite fraiche. Les cristaux de pistachite sont assez abondants de même que l'hématite . La mésostase est réduite à un film chloriteux interstitiel contenant quelques granules d'ilménite, les fantômes d'olivine sont rares. On note enfin quelques apatites fusiformes.

MV 76, albite BT . augite. orthose. hématite. chlorite. mica.

-Quatrième Coulée.
structure intersertale en lattes étroites et allongées d'albite maclées, nombreuses vacuoles de calcite et chlorite,plages de pistachite, nombreux cristaux d'augite saine,quelques fantômes d'olivine (chlorite vert pâle au coeur, hématite en bordure).

- Cinquième Coulée . (cf.PL-I-9 photo n°3)
structure intersertale bien conservée, les lattes albitiques ont des contours très nets et montrent souvent un réseau de chlorite au coeur; la mésostase est très riche en chlorite verte (ripidolite); pyroxène et olivine arrondis, sont remplacés uniquement par de la chlorite. On note d'abondants filonnets de calcite associée à très peu d'hématite et à de la pistachite.

1.1.5.3 SYNTHESE.

Cette coupe du Col de Prés-Clos est très intéressante à divers titres :
On observe le passage continu des sédiments houillers, permiens, triasiques et liasiques , ce qui indique une zône d'enfoncement d'âge hercynien. (cf APRAHAMIAN 1968).
Les laves spilitiques nous montrent, là encore, comme au Col d'Hurtières une structure peu oblitérée où l'on rencontre encore des cristaux parfaitement sains d'augite.Toutes les coulées présentent une structure intersertale qui,parfois même (3ème coulée), tend à devenir doléritique. Il faut noter également la présence presque constante d'épidote.
Les horizons intercalaires dolomitiques et argilites étant de nature marine on peut penser que les coulées se sont également mises en place en milieu marin.

1.1.6.- LES GISEMENTS D'ASPRES LES CORPS.
feuille XXX-III . 37 St Bonnet N°3 1/20.000

3 gisements ont été étudiés dans ce secteur:
- route d'Aspres : à l'embranchement Route Napoléon - Route d'Aspres-les-Corps.
- combe d'Aspres : au point coté 1232,7 m.
- col d'Aspres : sous le sommet des Cloutous (2026,2 m)

1.1.6.1 - Route d'Aspres
X= 886,8 Y= 284,4 Z= 960m.

Trois échantillons ont été prélevés sur cet affleurement:
4.7.1 Spilite vert jaunâtre microgrenue à vacuoles de calcite et pustules chloriteuses.
4.7.2 Spilite plus verdâtre à pustules de chlorite.
4.7.3 Spilite identique mais schistosée et à points chloriteux.

Ces trois échantillons montrent, en lame mince, une structure intersertale à subophtique en grandes lattes d'albite, à macles polysynthétiques, partiellement masquées par la chlorite. La mésostase

chloriteuse est très abondante et contient quelques grains et baguettes d'ilménite.Nombreuses plages de calcite, de chlorite et quelques grains de pistachite. Les vacuoles sont nombreuses(≈ 5mm): calcite et chlorite y sont disposées en zones concentriques alternées. Nombreux fantômes de ferro-magnésiens uniquement pseudomor--phosés par du ripidolite.

1.1.6.2 - Combe d'Aspres.
X=889,2 Y=285,4 Z=1250 m.

Echantillonnage des quatre coulées de la rive droite de la combe d'Aspres :

base 40m. ↓ sommet

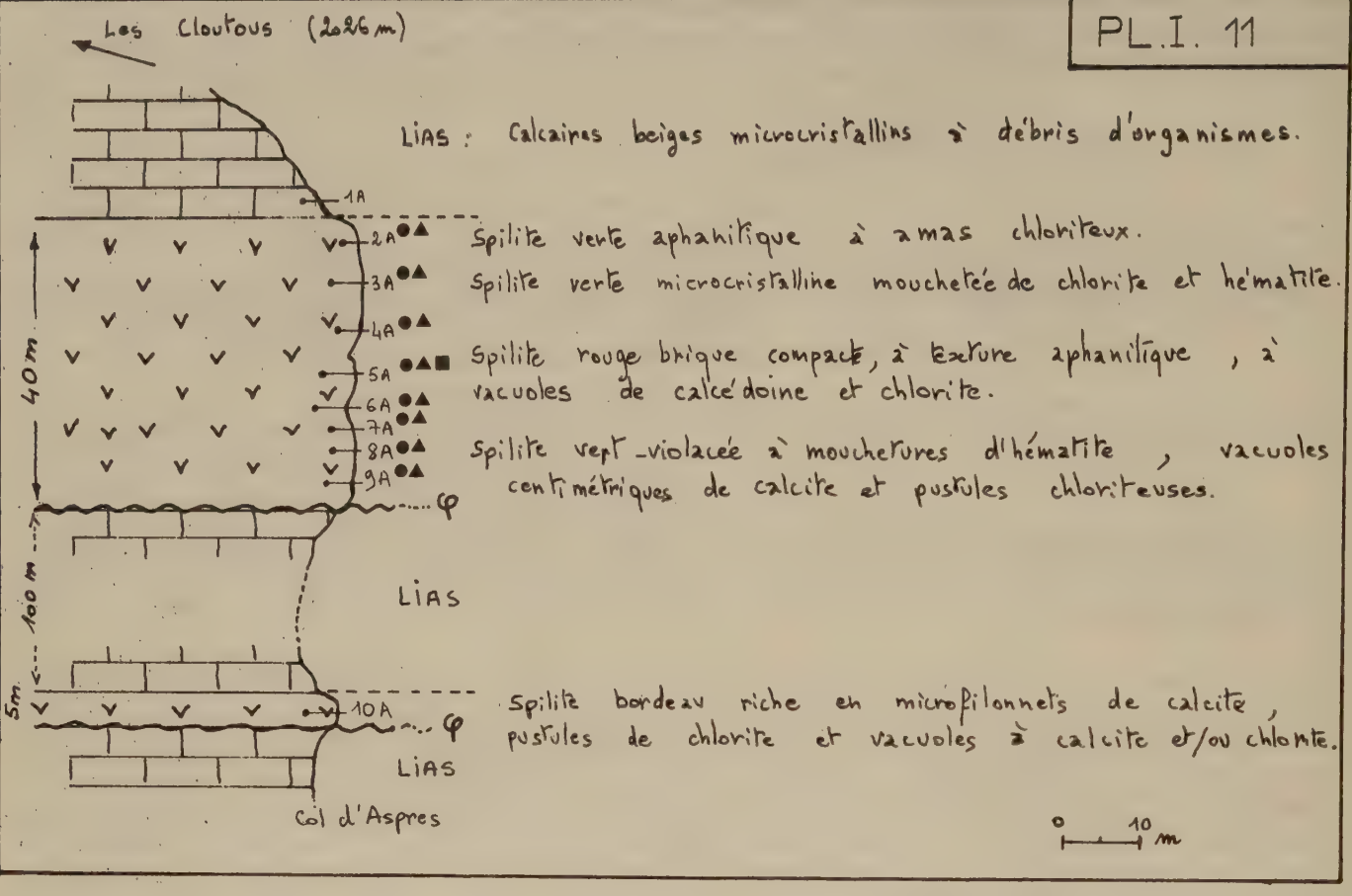
- 4.6.1●▲ 1ère coulée : Spilite verte aphanitique.
- 4.6.2●▲ 2ème coulée : Spilite violacée à mouchetures d'héma--tite.
- 4.6.3●▲ 3ème coulée : Spilite violacée à mouchetures de chlorite et hématite.
- 4.6.4●▲ 4ème coulée : Spilite violacée à petits filonnets jointifs de calcite,et vacuoles chlorito-calcitiques.La roche, tecto--nisée, présente de très belles diaclases en échelons le long d'une faille à coulissage senestre. (faille N 40° passant dans la Combe d'Aspres et décalant les coulées d'environ 60 m.)

Lias

Ces quatre coulées montrent en lame mince une structure interser--tale faite de lattes déchiquetées d'Albite à macle polysynthétique et quelques phénocristaux feldspathiques remplis de vermicules de chlorite. La mésostase chloriteuse est abondante de même que les fantômes de péridots (1,6mm); ilménite en grains et baguettes, plages de calcite et quelques grains de pistachite. La quatrième coulée est riche en vacuoles de calcite et / ou chlorite (5 à 10mm), la mésostase est hématitique .

1.1.6.3 COL d'ASPRES
X=889,8 Y=286,4 Z=1880m.

PL.I. 11



Cet ensemble spilitique de près de 40m. en position tectonique particulière (écailles superposées de spilites et calcaires liasiques), présente à l'examen microscopique une structure intersertale généralisée faite d'une part de lattes d'albite déchiquetées et tectoniquement déformées, et presque complètement oblitérées par la chlorite, et d'autre part de lattes ou phénocristaux d'orthose maclés Carlsbad (principalement les échantillons 2Aet 6A). La mésostase est constituée de chlorite et surtout de minéraux opaques : ilménite, hématite, magnétite, et pour certains échantillons plus altérés : goethite. Les ferro-magnésiens sont nombreux et classiquement pseudomorphosés en chlorite et bordés de magnétite:hématite. Nombreux grains de pistachite envahissant parfois toute la structure (Exp.Ech.8A). Seul l'échantillon 6A montre de grosses vacuoles (> 1 cm) de calcite en plages xénomorphes. L'échantillon 5A qui se distingue macroscopiquement par une teinte rouge brique, et une texture aphanitique vacuolaire, montre en lame mince une structure microlitique à phénocristaux d'orthose maclés Carlsbad et une mésostase hématitique contenant quelques sections de magnétite et des hydroxydes de fer .On note également des vacuoles étirées(> 5mm) de calcédoine (calcedonite) avec un coeur chloriteux.

Ech.5A orthose ++ .albite + BT.hématite.phengite. chlorite

La coulée inférieure (Ech.10A) montre une structure plus ou moins hyaline : lattes limpides d'albite à macles polysynthétiques flottant dans une mésostase vitreuse contenant quelques agrégats de quartz en puzzle .

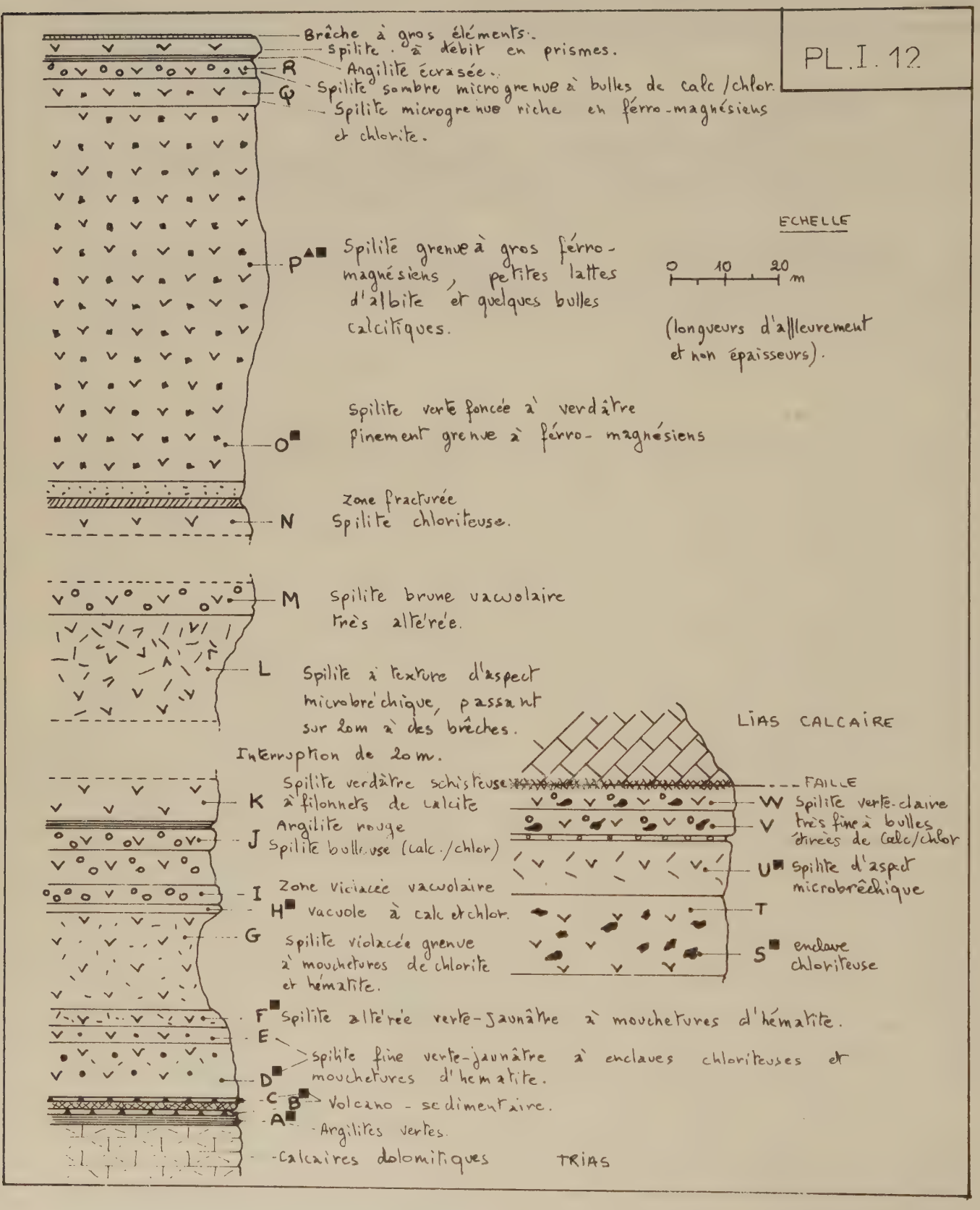
Cet échantillon montre, localement, des structures de dévitrifica--tion où l'on ne remarque qu'un agrégat cryptocristallin de quartz, feldspaths et chlorite, plus de l'ilménite diffuse, des vacuoles chloriteuses (ripidolite) et des filonnets de calcite.

1.1.6.4- SYNTHESE

Le fait intéressant est la prépondérance du feldspath dans certains échantillons et, d'autre part, l'abondance de la pistachite envahissant parfois la roche (plagioclases saussuritisés).

Seul le gisement de la route d'Aspres présente une structure à tendance sub-ophitique. Les fantômes de ferro-magnésiens, en particulier les péridots, sont toujours présents ; enfin on peut noter des vacuoles de calcédonite .

1.1.7 - BEAUFIN feuille XXX-III Saint-Bonnet n°3 1/20.000.
La coupe se situe sur la route Le Motty-Beaufin, elle débute à la borne"Le Motty 2,3 Km" et se poursuit le long de la route entre les points de coordonnées : X=886,48 Y=283,80 Z=806,6m
X=886,06 Y 283,78 Z=820m



1.1.7.1 - Description du gisement .
- calcaires dolomitiques triasiques;
- 10m:calcaires brèchiques à éléments variés: calcaires dolomitiques, argilites vertes à filonnets rouges etc...se terminant par des argi--lites vertes,franches,compactes.
Ech.A aux rayons X: quartz. calcite .chlorite.phengite
Chlorite → $Mg_{3,4}Fe_{1,3}Al_{1,3}(Si_{2,7}Al_{1,3})O_{10}(OH)_8$ R=0,28 Ripidolite
- 0,4m: volcano-sédimentaire: projections volcaniques fines, bulles de laves, cimentées par de la calcite, la roche est lardée de filonnets de calcite postérieurs à la mise en place des coulées et colorés par de l'hématite ou de la malachite (Ech.B)
- 1m: microbrèche à ciment dolomitique et éléments volcaniques.
- 0,8m: volcano-sédimentaire(idem.Ech.B)
Ech.C aux rayons X: calcite . hématite .phengite.quartz.
- 10m: spilite fine très compacte, à cassure microcristalline vert foncé .
Ech.D au contact inférieur la structure intersertale à lattes d'albite oligoclase maclées est complètement oblitérée par la sérici-tisation. Nombreux grains de quartz xénomorphes; abondance de la magnétite en grains ou en sections carrées, un peu d'hématite en paillettes, quelques grains de pistachite. On observe également quelques biotites automorphes en voie de chloritisation,et montrant alors des oxydes métalliques associés dans les clivages.
- 3m: spilite finement cristallisée vert-jaunâtre, plus claire que D, à enclaves chloriteuses et mouchetures d'hématite, Ech.E montre en lame mince une structure microlitique fluidale, identique par ailleurs à l'échantillon D.
- 3m: zone encore plus claire que E, apparamment plus altérée .
Ech.F la structure est intersertale en lattes albitiques de différentes tailles (longueur moyenne 1,2mm) enserrant de très nombreuses augites ($Ng \wedge C=43°$ $2V=+44°$) très bien conservées et des fantômes d'olivines arrondies entièrement pseudomorphées en ripidolite; grains et sections diverses de magnétite, ilménite plus diffuse, généralement répartie le long des lattes feldspathiques. La mésostase est réduite et comprend, outre les oxydes de fer, de la chlorite.
Aux rayons X : albite BT (An_5) anorthose. augite. hématite .calcite quartz . chlorite . phengite.
- 18m:zone spilitique sillonnée de filonnets de calcite colorés par de l'hématite; la partie supérieure est plus compacte, de teinte violacée, finement grenue à mouchetures de chlorite et hématite, et à vacuoles de chlorite et / ou calcite .Ech G hormis les vacuoles, la structure est identique à celle de l'échantillon F .
Ech.H (vacuoles) aux rayons X :chlorite $Mg_{4,33}Fe_{0,6}Al_{1,07}(Si_{2,93}Al_{1,07})O_{10}(OH)_8$ R=0,12 Clinochlore.
- 3m : zone scoriacée intraformationnelle ; la roche possède un véritable réseau dense de bulles étirées, sillonné par des filonnets de calcite.
- 6m : niveau compact violacé à filonnets rouges, ressemblant au coeur de la zone précédente.
- 4m : zone à petites bulles de chlorite et calcite.Ech.J : la structure est intersertale ; lattes feldspathiques très limpides (0,8mm) mais à coeur envahi par des vermicules de chlorite; la mésostase est presque uniquement hématitique (cf PL-I-13 photo 1), avec un peu de chlorite (clinochlore) souvent liée à des grains de pistachite; l'olivine,abondante,a des contours arrondis, un coeur chloriteux et une bordure hématitique. Nombreuses vacuoles de chlorite et calcite; quelques pyroxènes en partie ouralitisés.

Pl.I.13

LEGENDE

Photo 1 - Beaufin (p.39) - Bj - Lumière naturelle -

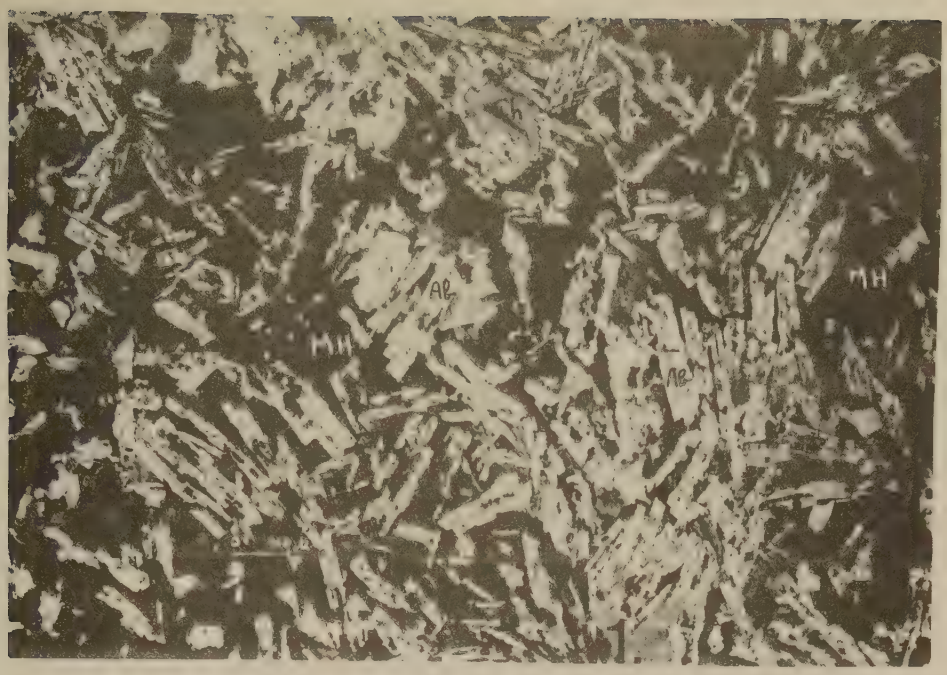
Structure intersertale à mésostase hématitique (M.H.). Les lattes d'albite (Ab) montrent un coeur partiellement envahi par les vermicules de chlorite . Quelques plages de chlorite interstitielle (ripidolite en serpentin,Ch)

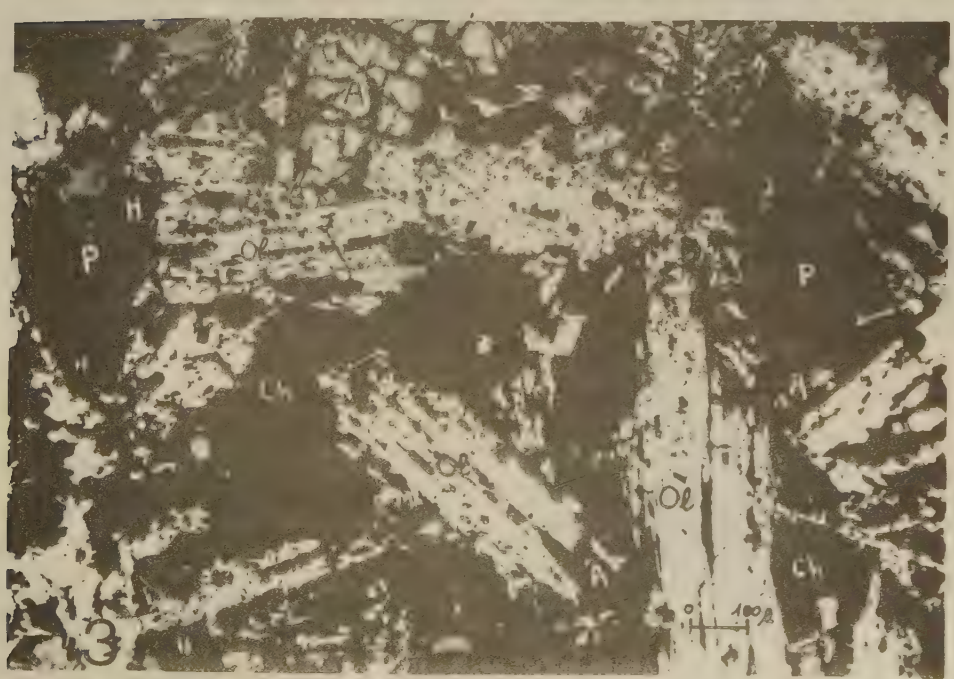
Photo 2 - Beaufin (p.46) - Bk - Lumière naturelle -

Microfilonnets amygdalaires à calcite (Ca), cristaux automorphes de pistachite (Ep) et lattes d'albite de néoformation (Ab).

Photo 3 - Beaufin (p.46)- Bl - Lumière naturelle -

Structure sub-ophitique montrant :
- des grandes lattes d'oligoclase (Ol)
- des augites saines (A)
- des Péridots (P) automorphes pseudomorphosés par de la chlorite et bordés d'hématite .
- ripidolite interstitiel en serpentins(Ch)
- des grains d'hématite (H) et de magnétite (M)





3

Pl.I.14

LEGENDE

Photo 1 -Beaufin (p.47)- Bq - Lumière polarisée -

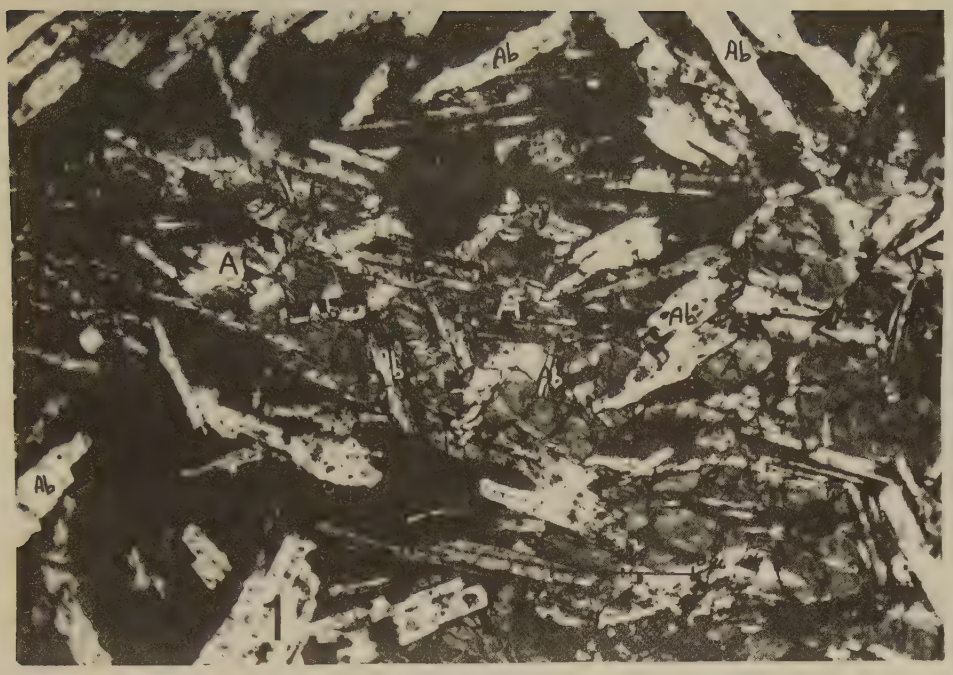
Augite poecilitique (A) incluant des lattes d'albite (Ab).

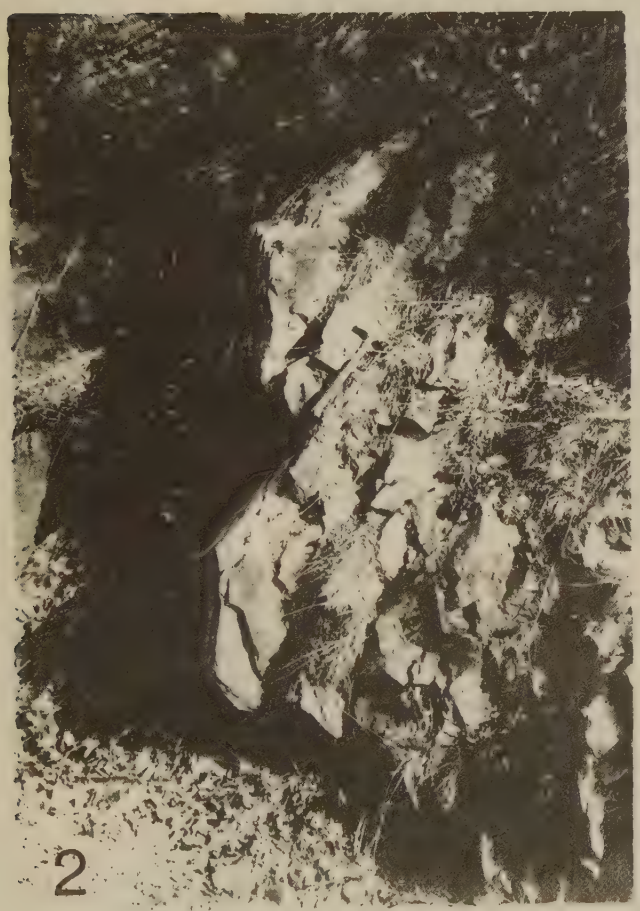
Photo 2 -Beaufin (p.47)

Coulée montrant un débit en prismes (largeur 1m) .

Photo 3 -Beaufin (p.47)

Pillow-lava (longueur 30-40 cm) .


Ab
Ab
A
A
Ab
Ab
Ab
1


2

3

Pl.I.15

LEGENDE

Photo 1 - Beaufin (p.47) - Bv - Lumière naturelle -

Structure intersertale à lattes déchiquetées d'albite(Ab) montrant un coeur envahi par la chlorite (Ch) .

Photo 2 - Beaufin (p.47) - Bv - Lumière polarisée -

Vacuole chloriteuse sphérolitique montrant des alternances de ripidolite (r) et de pennine (p) .

Photo 3 - Beaufin(p.47) - Bv - Lumière naturelle -

Structure intersertale (cf photo 1) à mésostase chloriteuse (ripidolite en serpentin , Ch) cristal de péridot (P) parfaitement automorphe entièrement pseudomorphosé par de la chlorite . Nombreux grains d'ilménite (Il).

- 0,5m: argilite rouge compacte, en petits bancs, représentant un horizon intercalaire .
- 8m: spilite gris-verdâtre à pâte fine, schistosée et lardée de nombreux filonnets de calcite .Ech.K: la structure est microlitique fluidale mais complètement oblitérée(chlorite et oxydes de fer) ; les micro-filonnets amygdalaires contiennent, outre de la calcite, des petits cristaux de pistachite et des petites lattes d'albite maclées très limpides, caractéristiques de l'albite de néoformation. (cf PL-I-13 photo 2).
- interruption sur 200 m.les affleurements étant masqués par les recouvrements morainiques.
- 20m: spilite très fine à texture microbrèquique passant à des brèches grossières. L'échantillon L provenant de la partie inférieure de cette zone montre, en lame mince,une très belle structure sub-ophitique à très grandes lattes d'oligoclase(1,8-2mm) maclées albite Ala-b et très nombreuses augites de grande taille (> 1mm) ($Ng \wedge c+46°$); les olivines (0,8mm) sont entièrement pseudomorphosées par de la chlorite et de l'hématite .On observe de nombreux serpentins de ripidolite (cf PL-I-13 photo 3), quelques grains et baguettes de magnétite, ilménite dans la mésostase chloriteuse.
- 6m : masse spilitique brune très altérée et très bulleuse.Ech.M identique à L hormis les vacuoles qui peuvent être différemment comblées: ripidolite seul , chlorite et coeur de calcite, calcite frangée de paillettes de chlorite.
- interruption de 20m,due à des recouvrements morainiques.
- 5m: lave verte très chloriteuse. Ech.N structure microlitique fluidale à phénocristaux d'albite , d'olivine automorphe (1,8-2mm) et de pyroxènes transformés uniquement en chlorite. On observe de nombreux petits cristaux d'augite interstitiels non altérés dans la mésostase constituée presqu'uniquement par de l'ilménite et quelques grains d'hématite et magnétite et des serpentins de ripidolite .
- 2m: zone très fracturée à plans chloriteux .
- 3m: zone à pigments d'hématite (anciens péridots transformés).
- 70m: spilite sombre, à gros cristaux, montrant différents faciès. Ech.O structure intersertale floue. Lattes albitiques sériciticisées, nombreux pyroxènes xénomorphes (augite $Ng \wedge c=+40-45°$, $2V=+50°$) englobant poecilitiquement des petites lattes feldspathiques . Phénocristaux d'olivine à contours arrondis pseudomorphosés par du ripidolite, bordures et clivages fortement soulignés par l'hématite .
Aux rayons X : Albite (An_{5-10}) Orthose(Ab 10%).Augite. chlorite.

Au centre de cette zone: Ech.P spilite grenue à gros ferro-magnésiens et petites lattes feldspathiques. Au microscope on observe une structure intersertale à phénocristaux d'albite (lattes > 2mm) maclée polysynthétiquement albite-Carlsbad, et contenant de fins vermicules de chlorite disposés perpendiculairement à l'allongement. On observe également quelques plages d'orthose souvent, en partie, englobées par de l'albite. Fantômes de péridots et pyroxènes (2 à 5mm) et phénocristaux automorphes, entièrement pseudomorphosés par le ripidolite. Les oxydes de fer sont peu nombreux et toujours liés à la mésostase . L'étude aux Rayons X des minéraux triés donne: albite BT (0% d'An 0% d'Or).augite.ripidolite: $Mg_{2,46}Fe_{2,25}Al_{1,29}(Si_{2,71}Al_{1,29})O_{10}(OH)_8$*.Orthose (18% Ab).calcite.

Sur la fraction lourde (D 3,50) [illegible] on décèle nettement un grenat de type grossulaire (tendance hydrogrossulaire) à maille comprise entre 11,80 et 11,84 et en traces : pyrite, chalcopyrite, galène, malachite et enfin en faible proportion: olivine(Fa 50-80), amphibole.

---

* R = 0,48 ripidolite

-5m: faciès microgrenu à minéraux ferro-magnésiens abondants et pustules chloriteuses .Ech.Q : structure très comparable à P. augite ($Ng \wedge c\ 47°$) poélitique (cf PLI-14 photo 1) quelques plages de calcite et pistachite, et nombreux fantômes de péridots; mésostase chlorito-ilménitique.

-3m: spilite vert sombre microgrenue à bulles de calcite et enclaves chloriteuses noires.Ech.R: comparable à P et Q, structure intersertale albitique à augite poecilitique, mais ici obscurcie par la chlorite diffuse dans toute la lame et une grande quantité d'oxydes de fer.

-1m: horizon intercalaire d'argilite écrasée.

-3m: spilite vert foncée à petites bulles de chlorite et débit en prismes métriques (cf Pl.I.14 photo 2).

- 0,5m: passée brèchique

+15 m : spilite verte à bulles et filonnets très fins et denses de calcite; on observe des boules plus ou moins étirées de lave (30-40cm entourées d'une matrice noire feuilletée d'aspect serpentineux correspondant à une structure en pillows-lavas (cf Pl.I-14 Photo 3).L'étude aux rayons X de cette matrice inter-pillows ,Ech.S nous donne uniquement du ripidolite $Mg_{2,15}Fe_{2,5}Al_{1,35}(Si_{2,65}Al_{1,35})O_{10}(OH)_8$ R=0,54 (confirmation par l'analyse chimique cf 1.2.1.2)

-10m: passage progressif à une spilite d'aspect plus micro-brèchique. Ech.U :aux rayons X: albite (An_5) Orthose (Ab_{10}) augite.ripidolite. on note ici encore un débit en prismes (50cm de diamètre).

- 1m: zone bulleuse.

- 5m: spilite gris sombre riche en chalcopyrite et amas chloriteux. Ech.V: montre en lame mince une très belle structure intersertale en lattes feldspathiques déchiquetées maclées polysynthétiquement , albite et à coeur chloriteux (cf Pl.I.15 photo 1).On observe des sphérolites de chlorite qui, optiquement, présentent des alternances concentriques de ripidolite et de pennine (cf Pl.I.15 photo 2). Nombreux péridots automorphes (> 1mm) pseudomorphosés en chlorite; quelques-uns à coeur de pistachite et parfois à bordures de quartz et d'hématite (cf Pl.I.15 photo 3).

-4m: zone à bulles étirées de calcite et chlorite dans une matrice spilitique vert claire très fine . Ech.W: structure intersertale semblable à V mais envahie par les vacuoles; bordure et noyau calciteux coeur chloriteux,chlorite vert émeraude cryptocristalline. Nombreuses plages de calcite avec ou sans épidote ,mésostase : ilménite et chlorite vert-jaune à vert émeraude. Quelques pyroxènes et péridots transformés en chlorite vert-jaune, enfin on note de nombreux feldspaths saussuritisés(épidote).

1.1.7.2 - SYNTHESE

Ce gisement est minéralogiquement l'un des plus beaux que nous ayons échantillonné, ceci est en partie dû à l'entaille de la route, par contre il est difficile de voir une succession dans les coulées, ni même de les distinguer, ceci en raison de la tectonique, et du recouvrement morainique. Néanmoins les horizons volcano-sédimentaires de la base et les 2 niveaux argilitiques rouges que l'on peut rencontrer nous prouvent bien qu'il s'agit de coulées et non de Sills interstratifiés . Les niveaux volcano-sédimentaires de base nous indiquent,en outre, des conditions de mise en place sub aquatique:milieu lagunaire ou marin à faible tranche d'eau.Ce gisement est également le seul , que nous ayons étudié, à montrer des débits en prismes (cf Pl.I.14 photo 2) et la présence de pillows lavas .(cf Pl.I.14 photo 3)

Minéralogiquement, en raison de la grande épaisseur des coulées, la structure subophitique s'est très bien développée, au coeur de celles-ci,et apparait non oblitérée.

On note l'abondance, ici comme d'ailleurs dans tous les gisements spilitiques du Valbonnais, des micro et phénocristaux d'augite très souvent poécilitique, celle-ci est fréquemment très fraiche, ou ne montre parfois qu'une légère transformation en chlorite

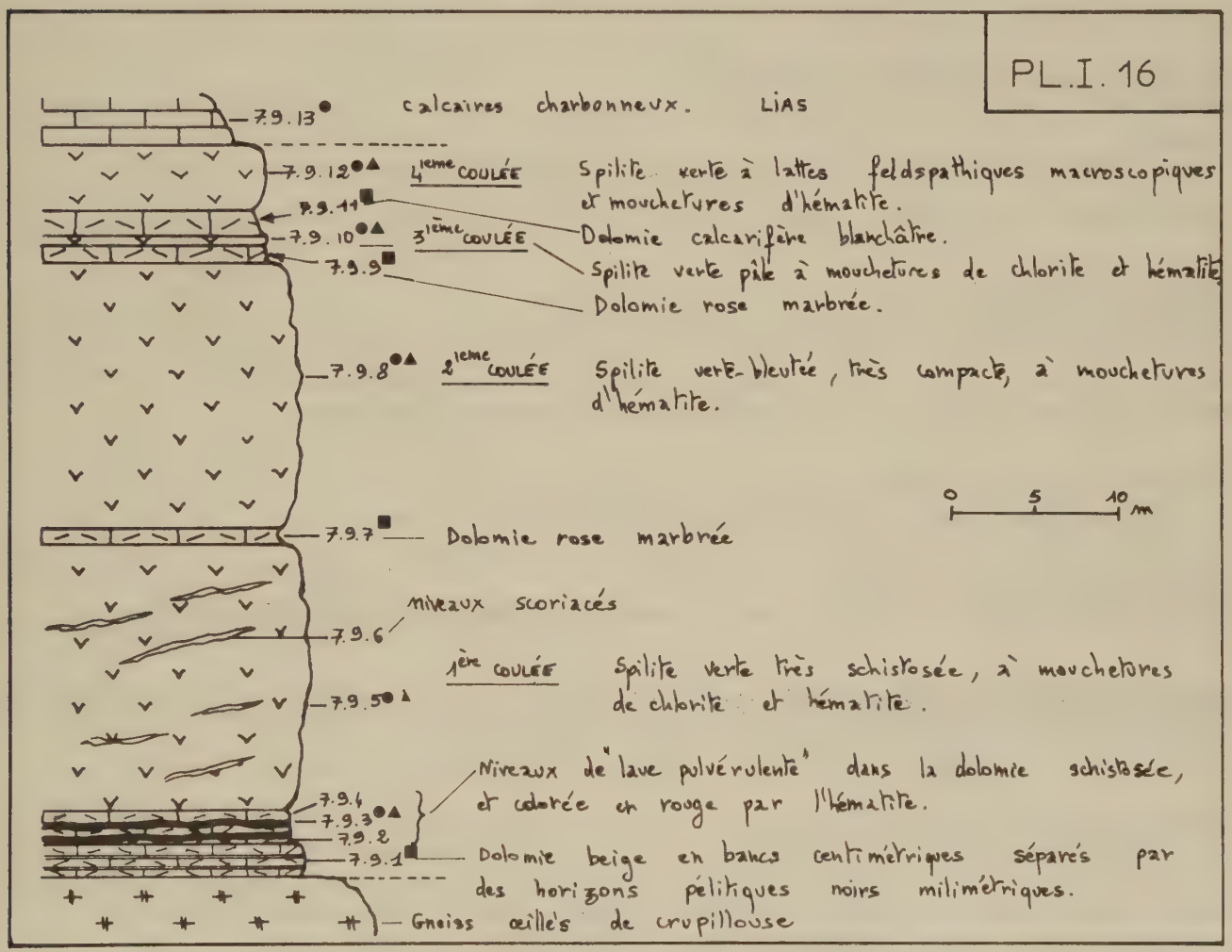
On peut noter également l'abondance de l'épidote, la pré-sence de biotite et l'importance des filonnets de calcite secondaire L'ordre de cristallisation des différents minéraux est le suivant: olivine , (magnétite), plagioclases , augite , chlorite, quartz, calcite et oxydes de fer .

LES GISEMENTS DU SYNCLINAL DE MORGES.

1.1.8 - COL DE LAUPLAT (2737m) feuille XXX-IV-37 Orcières n°2-1/20.000

Situé sur la bordure sud du synclinal mésozoïque de l'aiguille de Morges et d'accès possible par Navette et la Cabane des Pales , ce gisement est situé au Col de Lauplat(2737m) même, sous l'aiguille Rousse(2845m)

X=909,2 Y 283,5 Z 2737m.



-Niveaux volcaniques de base.
Spilite d'aspect pulvérulent complètement chloritisée et calcitisée où l'on ne peut plus reconnaître de structure . Grandes aiguilles d'hématite (> 1mm), quelques grains de magnétite et d'ilménite, quelques amas de fantômes de péridots . Ces niveaux spilitiques très altérés représentent des microsills interstratifiés dans des dolomies rougies par l'hématite (dolomie de précipitation directe) et veinés de petits filonnets de calcite.

- Première Coulée(20m)
La structure intersertale est masquée par la chlorite. On note quelques fantômes de péridots et l'abondance de divers oxydes de fer: magnétite,hématite,ilménite,ainsi que des plages de calcite diffuse.
On distingue également des niveaux scoriacés noirs lenticulaires montrant en lame mince un agrégat de quartz,calcite,chlorite et hématite. Il pourrait s'agir de structures de dévitrification (faciès paléovolcanique).

- Horizon intercalaire 1-2 (1m)
Dolomie colorée en rose par l'hématite (dolomie de précipitation directe)
7.9.7 (RX) dolomite.quartz.calcite.chlorite.phengite.hématite.
chlorite → $Mg_{3,46}Fe_{1,40}Al_{1,14}(Si_{2,86}\ Al_{1,14})\ O_{10}\ (OH)_8$ R=0,29 Ripidolite

- Deuxième Coulée (20 m)
Structure intersertale en lattes trapues de plagioclase finement maclé albite. Cette structure est ici encore oblitérée par la chlorite et la calcite. On distingue de nombreux fantômes de ferromagnésiens(péridots) pris dans la maille feldspathique.

- Horizon intercalaire 2-3 (1m)
Niveau dolomitique identique au précédent (1-2)

- Troisième Coulée (0,5m)
Celle-ci montre en lame mince une structure identique à la 2ème coulée.

- Horizon intercalaire 3-4 (1m)
Dolomie calcarifère à joints stylolithiques.
7.9.11 (Rx) dolomite.calcite.quartz.chlorite. mica .

- Quatrième Coulée
La structure est intersertale en grandes lattes de plagioclase maclées albite et quelques plages d'orthose . De très nombreux fantômes de péridots souvent groupés en amas, la mésostase chlorito-calcitique est riche en magnétite ,hématite, ilménite.

- Lias représenté par des calcaires microcristallins à matières charbonneuses intergranulaires .

SYNTHESE

- les coulées spilitiques très altérées présentent toutes une structure intersertale, des fantômes de péridots agglomérés, et sont riches en oxydes de fer .

- les horizons intercalaires sont tous dolomitiques, et

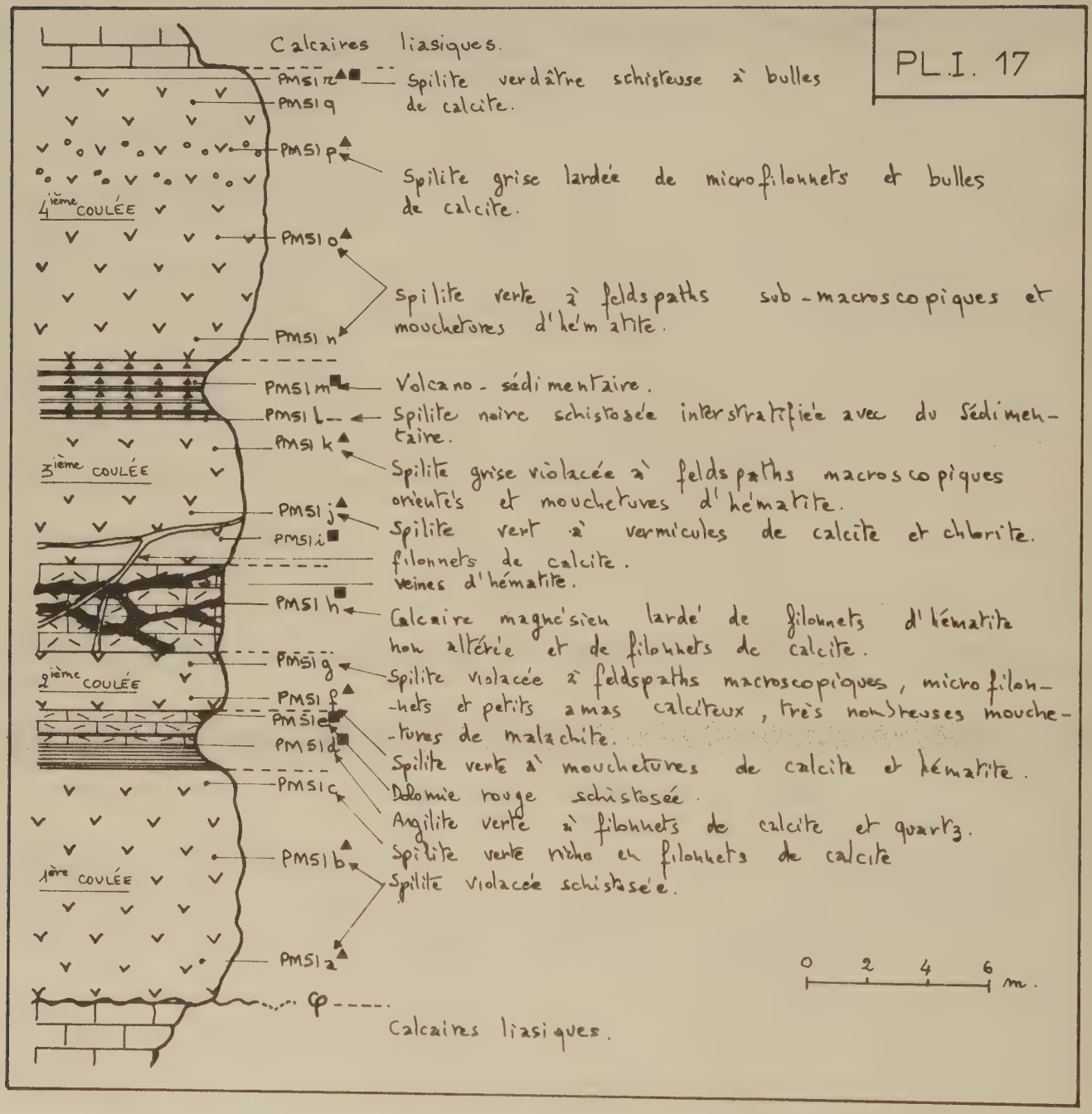
selon les critères de BERNARD(1959) , résumés par SAUPE (1973), on peut leur attribuer une origine syngénétique de précipitation directe Les spilites du Col de Lauplat se seraient épanchés en milieu lagunaire, ou en milieu marin peu profond.

1.1.9. COL DE CLAPOUSE feuille XXX-IV-37 Orcières N°2 1/20.000

La coupe choisie se situe juste au-dessous du Col de Clapouse versant NW en dessous du point coté 2677m

X=909,06 Y=284,0 Z=2640m

Elle se poursuit en direction du NE sur une soixantaine de mètres. Les coulées sont ici orientées N100-110 et pentées d'environ 60° à 70° vers le N-NE .



- Première Coulée (8m)

La structure est intersertale dans toute la coulée, mais à faciès paléovolcanique (fond de chlorite avec calcite, quartz et feldspath envahissant toute la lame). On distinguee néanmoins des lattes d'albite maclée et quelques plages d'orthose. Le coeur et le sommet de la coulée ont une mésostase hématique ,la base montre une mésostase chloriteuse à péridots uniquement pseudomorphosés en chlorite.

- Horizon intercalaire 1-2 (2m)

A la base il s'agit d'une argilite micacée finement litée et microscopiquement parsemée d'hématite.

PM 5Id (RX) Phengite.chlorite.hématite.calcite.quartz (en veines)

chlorite → $Mg_{3,51}Fe_{1,25}Al_{1,24}(Si_{2,96}Al_{1,24})O_{10}(OH)_8$ R= 0,26 Ripidolite

la partie supérieure est constituée par un niveau dolomitique fortement coloré par l'hématite.

PM 5Ie (RX)dolomite.quartz.calcite.phengite.Chlorite.hématite .

chlorite → $Mg_{4,38}Fe_{0,55}Al_{1,07}(Si_{2,93}Al_{1,07})O_{10}(OH)_8$ R=0,11 Leuchtembergite

- Deuxième Coulée (2m)

Présente une structure intersertale aphanitique sur toute l'épaisseur de la coulée ; les plagioclases(albite) en grandes lattes maclées sont plus ou moins sériciticisées, et les grands cristaux d'orthose,souvent tectoniquement déformés (torsion,diaclasage..), flottent dans une mésostase opaque très abondante constituée essentiellement d'hématite (+chlorite et ilménite). On observe de nombreux fantômes de ferromagnésiens et quelques lamelles de muscovite . La calcite en enclaves , en filonnets , ou bien diffuse envahit toute la lave .

- Horizon intercalaire 2-3 (2,5-3m)

Calcaire magnésien microcristallin injecté de veines d'hématite non altérée ,et lardé de filonnets de calcite .

PM 5I h(RX) hématite.calcite .chlorite.dolomite.quartz

- Troisième Coulée (5m)

Spilite à structure intersertale aphanitique, la base est constituée par une brèche intraformationnelle, riche en plages de quartz et en calcite diffuse, mais les feldspaths sont assez nets, maclés, alors que dans le reste de la coulée ils sont sans contours nets et complètement oblitérés par la chloritisation, la mésostase est opaque: hématite et ilménite . On note de nombreux fantômes de péridots à contours arrondis. L'analyse aux rayons X nous révèle uniquement de l'orthose.

PM 5I i(RX): calcite.orthose.quartz.hématite.chlorite.muscovite.

chlorite → $Mg_{3,05}Fe_{I,65}Al_{1,30}(Si_{2,70}Al_{1,30})O_{10}(OH)_8$ R= 0,35 Ripidolite

- Horizon intercalaire 3-4 (2m)

Niveau volcano-sédimentaire constitué de projections laviques(où l'on aperçoit quelques microlites flottant dans une mésostase hématitique riche en quartz et calcite) prises dans une matrice pélitique micacée riche en chlorite .

PM 5I m(RX) quartz.chlorite .muscovite $2M_1$ .hématite.calcite.

chlorite $Mg_{3,6I}Fe_{1,1}Al_{1,29}(Si_{2,71}Al_{1,29})O_{10}(OH)_8$ R= 0,23 Clochanite

-Quatrième Coulée(10m)

La structure intersertale, fine à microlitique, plus ou moins fluidale aux épontes, passe au coeur de la coulée à une structure porphyrique aphanitique où les phénocristaux de plagioclase(albite > 1mm) limpides, à macles polysynthétiques de l'albite, et les phénocristaux ou plages d'orthose,flottent dans une mésostase opaque presque entièrement constituée d'hématite et contenant de fins microlites(aiguilles) feldspathiques(cf Pl.I.20 Photo 1). Nombreux fantômes de ferromagnésiens, vacuoles et filonnets vésiculeux de calcite et / ou quartz microcristallin (autobrèchification) contenant fréquemment des cristaux de pyrite . Aux épontes on observe de la chlorite en plages effilochées se surimposant à toute la structure .

PM 51r(RX):orthose.calcite.chlorite.phengite.quartz.hématite.pyrite.

chlorite → $Mg^{++}_{1,81}Fe^{+}_{2,80}Al^{+}_{1,39}(Si_{2,61}Al_{1,39})O_{10}(OH)_8$ R=0,61 Ripidolite

- Cette coulée est surmontée par les calcaires liasiques.

- SYNTHESE

La structure est intersertale plus ou moins aphanitique pour l'ensemble des coulées, omniprésence des fantômes de péridots, mais la grande particularité de ce gisement est sa richesse en orthose qui est souvent le seul feldspath alcalin présent.

De même que le gisement du Col de Lauplat, celui du Col de Clapouse est très altéré et surtout très tectonisé: feldspaths tordus diaclasés , à extinction roulante etc...abondance des filonnets de quartz et calcite , enfin développement du faciès paléo-volcanique.

Les horizons intercalaires sont presque tous riches en dolomie, ce qui confirme l'épanchement en milieu lagunaire (marin peu profond) déjà entrevu pour le gisement du Col de Lauplat.

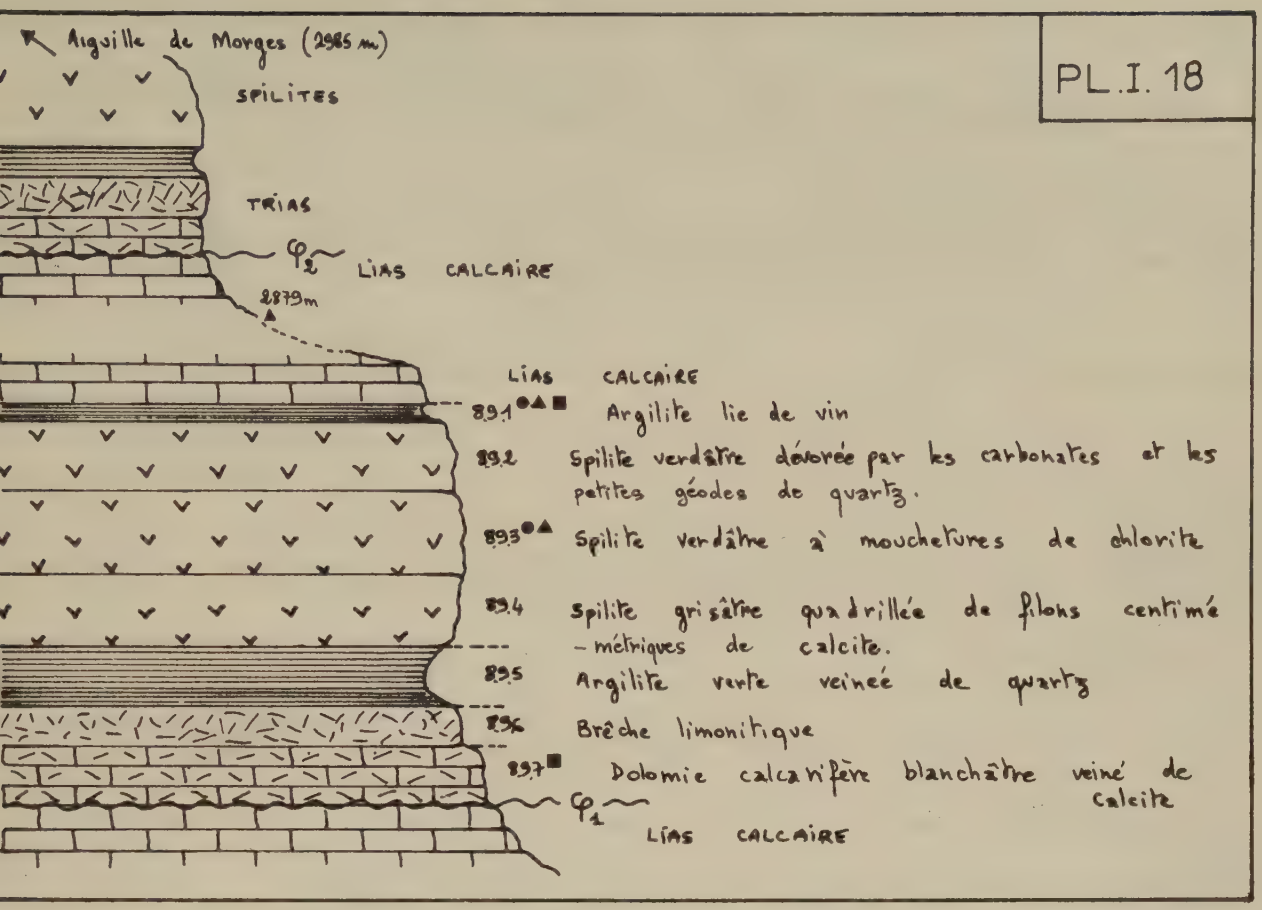
1.1.10. AIGUILLE DE MORGES (2985m)

feuille XXX-IV-37 Orcières n°2 I/20.000

La coupe étudiée se situe à la base de l'aiguille au point de coordonnées : X=909,6 Y=285. Z=2800m.

On y accède par Navette, la Cabane des Pâles et en suivant l'arête qui, du Col de Morges(2766m), conduit au sommet de l'aiguille de Morges(2985m).

Les coulées spilitiques sont ici encore en position tectonique particulière comme l'on peut s'en rendre compte sur la coupe ci-après (superposition d'écailles tectoniques constituées de Trias spilites et Lias, phénomène déjà entrevu au Col d'Aspres .



PL.I.18

La coupe débute par un banc de dolomie calcarifère:
8.9.7. (RX) dolomite $_{++}$. calcite $_{+}$. quartz $_{-}$

- On rencontre ensuite une zone brèchique : éléments de pélites calcaires limonitiques, agglomérés par un ciment fait de quartz, calcite microcristalline et muscovite; l'ensemble étant oblitéré par l'altération limonitique. 8.9.6.(RX) Calcite $_{++}$. quartz $_{+}$.phengite $_{+}$ chlorite $_{-}$.

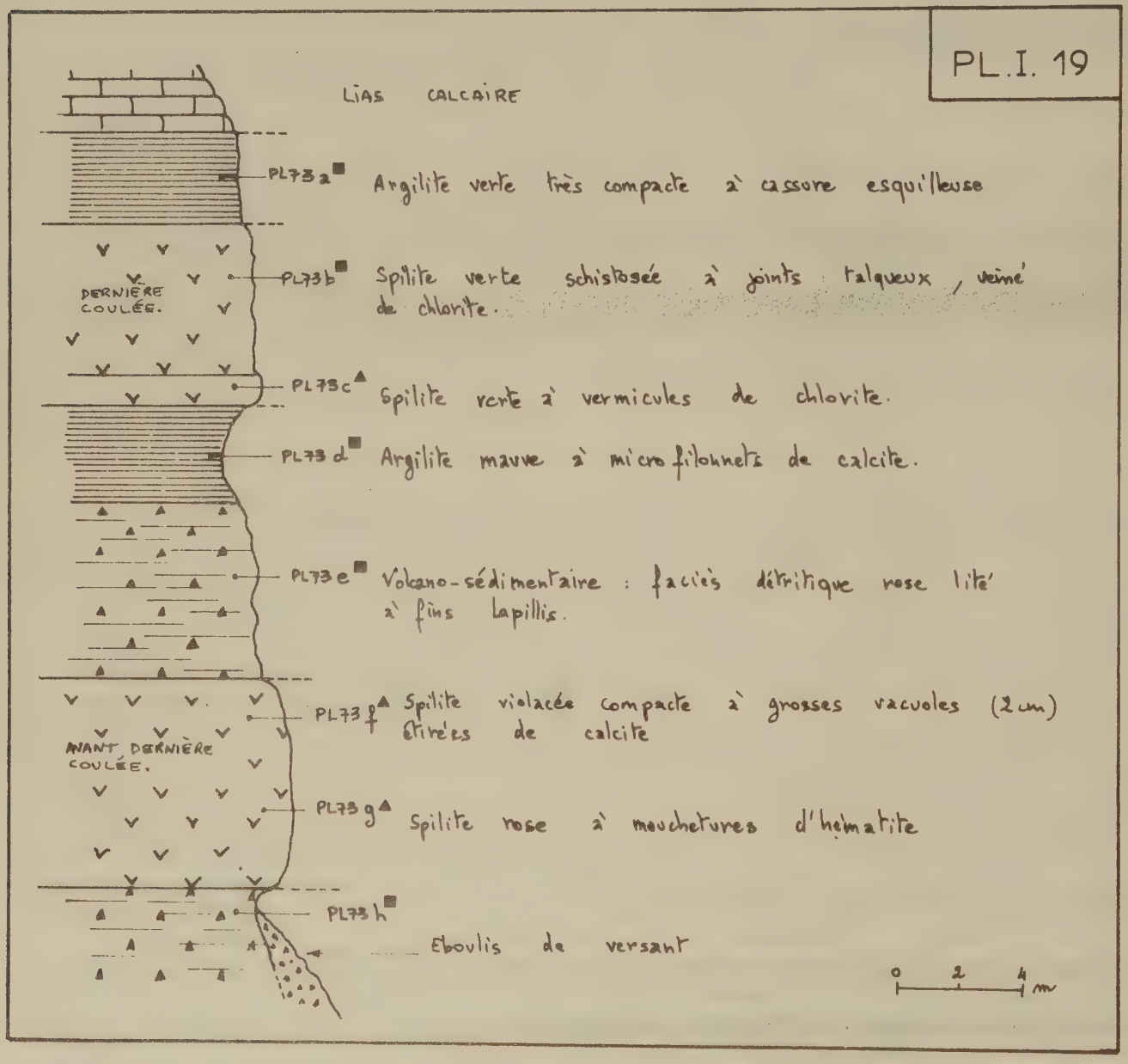
- On observe ensuite une argilite micacée colorée en vert par la chlorite et veinée de filons de quartz.
- Les différents échantillons spilitiques présentent tous une structure microlitique complètement oblitérée par la chloritisation, et les oxydes et hydroxydes de fer (hématite-goéthite). On peut noter toutefois la présence de nombreux fantômes de péridots, de quelques plages diffuses d'orthose, de veines de quartz et d'albite de néoformation, et surtout l'abondance des fractures remplies de calcite.
- se succèdent ensuite les faciès du Lias par l'intermédiaire d'une argilite micacée ferrugineuse .
8.9.1 (RX) :phengite $_{++}$,hématite $_{++}$.quartz $_{++}$.chlorite $_{-}$. (magnétite)

1.1.11. COL DES CHEVRETTES (2592m)
feuille XXX-IV-37 Orcières n°2 1/20.000

Accès par le refuge de Vallompierre. Deux coupes ont été réalisées sur les spilites de ce secteur ,la première sur le versant Cros des Chevrettes: X=911,0 Y= 285,40 Z= 2600 m la seconde en aval du Cros des Chevrettes versant Vallompierre:
X=911,20 Y= 285,50 Z= 2550m

1.1.11.a CROS DES CHEVRETTES

La base de cet affleurement étant masquée en partie par les éboulis de pente, nous ne le décrirons que sommairement,seules l'avant dernière et la dernière coulée étant visibles .



A la base du gisement, disparaissant sous les éboulis de pente, on trouve un niveau volcano-sédimentaire : dolomie renfermant de nombreux lapillis :

PL 73h dolomite^{++}.quartz^{++}.chlorite^{+}.hématite^{+}.calcite$^{\pm}$.muscovite^{-} $2M_1$

- Avant-dernière Coulée (6-8m)

Faciès paléovolcanique, structure microlitique complètement oblitérée par la chloritisation* et la sériciticisation des plagioclases; le sommet, très riche en vacuoles de calcite, présente une mésostase importante uniquement hématitique, alors que la base a une mésostase très réduite et de très nombreux fantômes de péridots uniquement pseudomorphosés par de l'hématite.

- Horizon intercalaire (8-10m)

Argilite micacée riche en granules de quartz et colorée en rouge par l'hématite :

PL 73d(RX): quartz^{+}.calcite^{+}.chlorite^{+}.muscovite^{+} $2M_1$ .hématite^{+}

chlorite → $Mg_{4,06}Fe_{0,7}Al_{1,24}(Si_{2,76}Al_{1,24})O_{10}(OH)_8$ R=0,15 Glochauite

La base est d'origine volcano-sédimentaire: argilite micacée litée. (lits micacés, lits chloriteux, lits calcitiques) riche en lapillis vitreux (cf Pl.I.20 photo 2) Pl73e(RX): même paragenèse que PL73d

chlorite: $Mg_{4,49}Fe_{0,2}Al_{1,31}(Si_{2,69}Al_{1,31})O_{10}(OH)_8$ R=0,04 Sheridanite

- Dernière coulée (6m)

La partie supérieure présente un faciès paléovolcanique, aucune structure n'est reconnaissable, on observe seulement un agrégat cryptocristallin de feldspaths et quartz coloré en vert par de la chlorite et moucheté d'innombrables grains d'hématite.

Pl 73b(RX): albite BT.chlorite.phengite.quartz.hématite.

chlorite: $Mg_{1,58}^{++}Fe_{3,10}^{++}Al_{1,32}^{+}(Si_{2,68}Al_{1,32})O_{10}(OH)_8^{+}$ R=0,66 Ripidolite

La base montre une structure microlitique à tendance porphyrique, phénocristaux d'albite (An_5 et $\approx$ 1mm) à macles polysynthétiques présentant un début d'altération en chlorite et épidote (saussuritisation).La lave est très riche en petites épidotes; mésostase chloriteuse abondante + hématite et ilménite.

La coupe se termine par un niveau argilitique micacé très riche en chlorite : Pl 73a(RX) : chlorite^{++}.phengite^{++}.quartz^{++}.ilménite^{--}.

chlorite → $Mg_{0,31}Fe_{4,3}Al_{1,39}(Si_{2,61}Al_{1,39})O_{10}(OH)_8$ R=0,93 Bavalite

on trouve ensuite les calcaires du Lias .

---

* (les feldspaths sont envahis par de fins vermicules de chlorite)

Pl.I.20

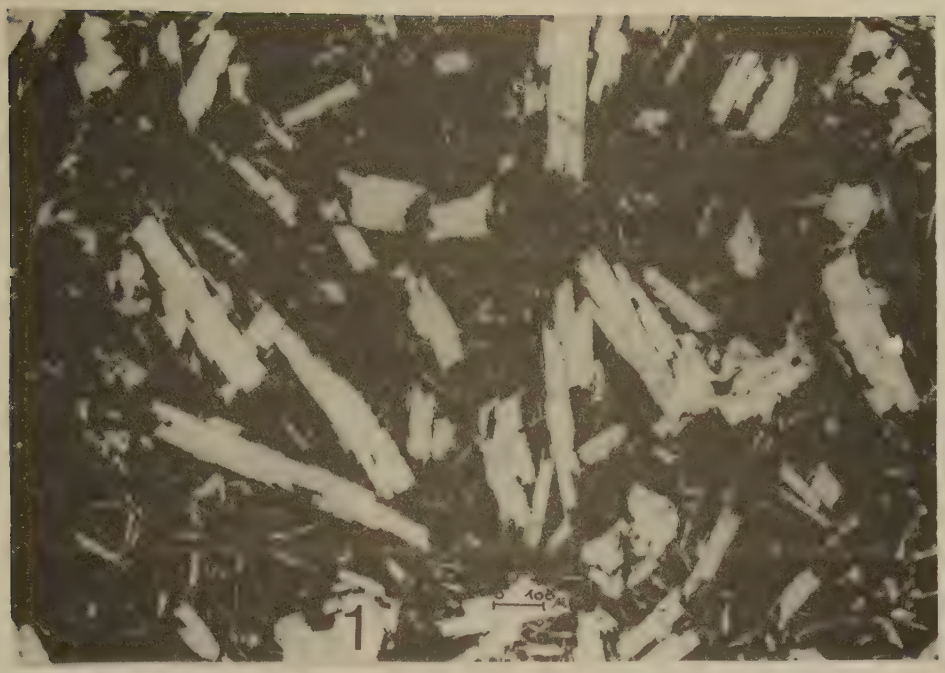
LEGENDE

Photo 1 - Col de Clapouse - 4ème coulée (p.54) - PM 51 p-
- Lumière naturelle -
Structure porphyrique aphanitique . Les phénocristaux d'albite et d'orthose flottent dans une mésostase hématitique contenant de fines aiguilles feldspathiques.

Photo 2 - Cros des Chevrettes p.57 - PL 73 e - Lumière naturelle -

Horizon intercalaire: argilite micacée finement litée, riche en lapillis vitreux totalement transformés en hématite (H) .

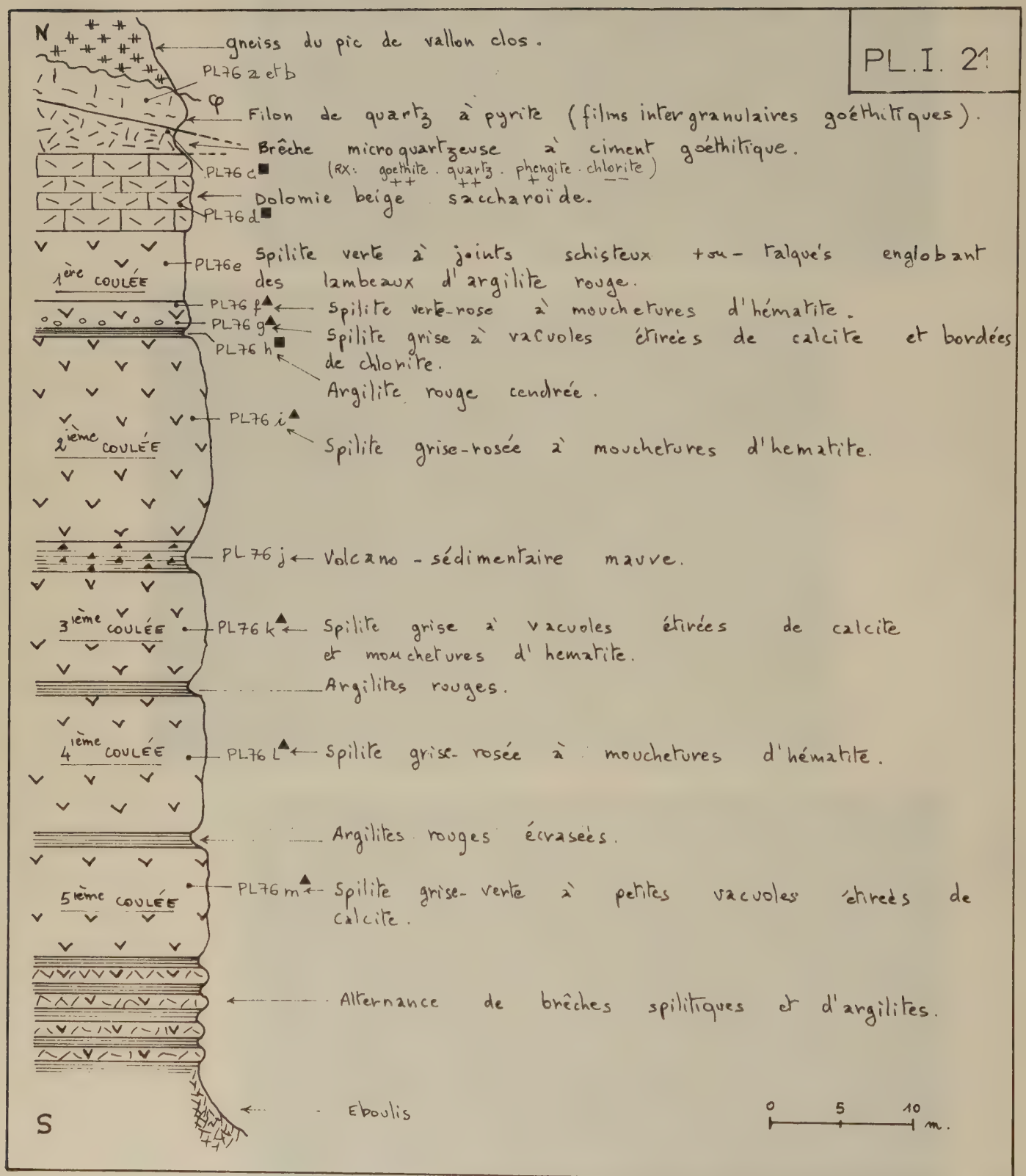
Photo 3 - Vallon Long (3ème coulée p.63) - PM 61 m -
- Lumière naturelle -
Structure intersertale à lattes déchiquetées d'albite(Al), mésostase chloriteuse, minéraux opaques uniquement représentés par l'ilménite (Il)


1

2
0 50 100 µ

1.1.11 b - COL DES CHEVRETTES

La coupe étudiée se déroule du N au S à partir du gros filon de quartz minéralisé.



Elle débute par un niveau de dolomie macrocristalline :
PL 76d (RX) dolomite.calcite. chlorite. quartz.

chlorite → $Mg_{4,23}Fe_{0,6}Al_{1,17}(Si_{2,83}Al_{1,17})O_{10}(OH)_8$ R=0,12 Leuchtenbergite

- Première Coulée (7m)
L'échantillon pris à la base montre en lame mince une lave à structure microlitique fluidale, très altérée (faciès paléovolcanique), riche en baguettes d'hématite. Cette lave emballe des lambeaux argilitiques ce qui témoigne de sa mise en place synsédimentaire. Le sommet, vacuolaire, a une structure intersertale très fine mais oblitérée par la chloritisation et piquetée d'hématite. Nombreux fantômes de péridots (≈ 2mm).

- Horizon intercalaire 1-2 (0,5m)
Argilite quartzeuse riche en micrograins d'hématite (projection de cendres) :
PL 76 h(RX):quartz.hématite.chlorite.muscovite $2M_1$ .calcite.

chlorite → $Mg_{4,6}Fe_{0,2}Al_{1,24}(Si_{2,76}Al_{1,24})O_{10}(OH)_8$ R=0,04 Shéridanite.

- Deuxième Coulée (15m)
Structure microlitique oblitérée par la chloritisation (faciès paléovolcanique); abondance d'hématite en baguettes, en grains, ou en pseudomorphose de péridots. Nombreux grains de quartz, plages et veines de calcite .

- Horizon intercalaire 2-3 (2m)
Volcano-sédimentaire : scories spilitiques dans une matrice dolomitique à passées argilitiques colorées par les hydroxydes de fer.

- Troisième Coulée (10m)
Structure microlitique plus ou moins fluidale en lattes feldspathiques déchiquetées partiellement envahies par la chlorite; nombreuses vacuoles de calcite et quartz microcristallin, nombreux fantômes de péridots, hématite intersertale.

- Quatrième Coulée (10m) et Cinquième Coulée (10m)
La structure microlitique montre une richesse en chlorite identique à celle de la 2ème coulée; la 5ème coulée présente de nombreuses vacuoles de calcite ainsi que des grains d'hématite et de magnétite.

1.1.11 c.SYNTHESE

Ces deux gisements nous montrent :

- le développement du faciès paléotypique ; lorsqu'elle est visible la structure est microlitique ; on note l'abondance de l'hématite et l'omniprésence des fantômes de péridots .

- l'alternance des horizons intercalaires argilitiques , dolomitiques et volcano-sédimentaires , indique vraisemblablement ici encore un épanchement en milieu lagunaire ou marin à faible tranche d'eau.

1.1.12 VALLON LONG feuille XXX-IV-37 Orcières n°2 1/20.000

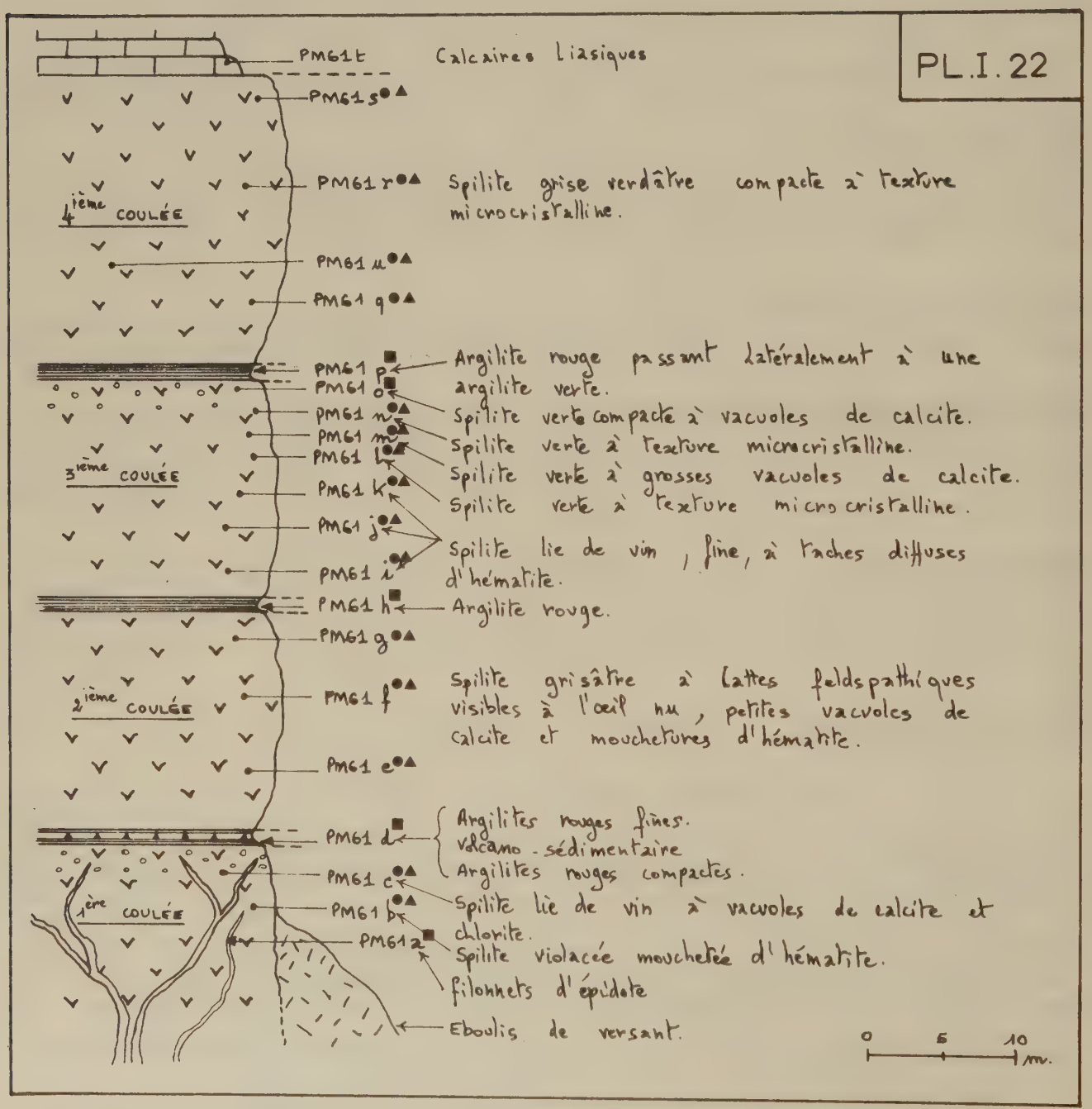
Le gisement est situé en rive gauche du Vallon Long sous la crête SE descendant de l'aiguille de Morges(2985m) et séparant le VALLON LONG du VAL HAUT.

On peut accéder à ce Vallon complètement isolé en partant soit du refuge de Vallompierre et en passant par le pic de Vallompierre, soit en partant des Auberts en Champoléon et en remontant le torrent d'Isora, soit encore en partant de Navette et en passant le col de Morges.

La coupe étudiée débute au point de coordonnées:

X=910,71 Y=284,50 Z=2500m.

et se poursuit verticalement sur environ 50 à 60 m.



- Première Coulée (5m)

La base apparente de cette première coulée (la base réelle étant masquée par les éboulis de pente) est sillonnée de nombreux filonnets d'épidote remplissant des fractures.

PM 61a (RX) Pistachite.piedmontite.calcite.orthose.quartz.

L'étude microscopique du coeur de la coulée nous montre une structure microlitique fine à lattes de plagioclase sans contours nets et presque complètement envahies par la chlorite, de très nombreux petits cristaux de pyroxène (augite) non altérés, les fantômes d'olivine (0,8mm) sont abondants, pseudomorphosés de façon classique par de la chlorite au coeur et bordés d'hématite. La mésostase chloriteuse est riche en hématite et calcite diffuse. Le sommet est très riche en vacuoles (Ø moyen 5mm)de calcite à frange chloriteuse.

- Horizon intercalaire 1-2 (1m)

constitué d'une argilite micacée hématitique renfermant un niveau décimétrique à projections (volcano-sédimentaire) dans sa partie centrale .

PM 61d (RX) quartz.calcite.phengite.hématite.chlorite.

chlorite $\rightarrow Mg_{3,65}Fe_{1,25}Al_{1,1}(Si_{2,9}Al_{1,1})O_{10}(OH)_8$ R=0,26 Pycnochlorite.

- Deuxième Coulée.(I5m)

Si la base de cette deuxième coulée présente une structure très altérée à mésostase ferrugineuse, le coeur montre,en lame mince, une très belle structure intersertale porphyrique.

- lattes (0,4mm) et phénocristaux (3mm) d'albite BT, à macle polysynthétique, montrant un début d'altération en fines aiguilles de séricite, cristaux plus trapus et plus diffus d'orthose.
- mésostase réduite: pistachite,hématite et ilménite.
- petites vacuoles chloriteuses, ou calcitiques à bordure chloriteuse, amygdales de quartz-calcédoine et calcite.
- quelques fantômes de gros péridots.

L'éponte supérieure est très altérée, la mésostase calcitique envahit toute la structure.

- Horizon intercalaire 2-3 (1m)

argilite calcarifère colorée par de l'hématite.

PM 61h (RX) calcite.muscovite $2M_1$ .quartz .chlorite.hématite. pistachite.

chlorite $\rightarrow Mg_{3,8}Fe_{1,0}Al_{1,2}(Si_{2,8}Al_{1,2})O_{10}(OH)_8$ R=0,21 Leuchtembergite.

-Troisième Coulée (15m)

- base et coeur :
- structure microlitique fluidale envahie par la chlorite.
- mésostase chloriteuse très riche en hématite et ilménite.
- très nombreux fantômes de petites olivines automorphes.
- quelques plages de calcite diffuse.
- sommet - (cf Pl I-20 photo 3)
- structure intersertale en grandes lattes (2mm) de plagioclase à macle polysynthétique de l'albite, quelques plages d'orthose,
- les interstices sont occupés uniquement par de la chlorite (ripidolite) + ilménite.
- nombreuses plages diffuses de calcite et quartz, ou en vacuoles. (PM 61_m et o,vacuoles > 5mm de Ø)
- nombreux petits cristaux de pistachite

On ne note pas de fantômes de péridots. Dans l'éponte supérieure (PM 61 o) la structure est entièrement masquée par la chlorite et la lave englobe des fragments de pélite grèseuse.

PM 61o (RX): quartz, orthose, chlorite, albite BT, pistachite. muscovite $2M_1$ ilménite.

chlorite → $Mg_{0,18}Fe_{4,6}Al_{1,22}(Si_{2,78}Al_{1,22})O_{10}(OH)_8$ R=0,96 Bavalite

- Horizon intercalaire 3-4 (0,8-1m)

Argilite micacée colorée par l'hématite, passant latéralement à une argilite grèseuse très riche en chlorite.

PM 61 p (RX): calcite.quartz;chlorite.muscovite $2M_1$ .hématite. allanite.métamicte.

chlorite → $Mg_{2,36}Fe_{2,4}Al_{1,24}(Si_{2,76}Al_{1,24})O_{10}(OH)_8$ R=0,50 Ripidolite

- Quatrième coulée (20m)
- La structure est intersertale dans toute la coulée, néanmoins plus fine voire microlitique à la base, lattes déchiquetées d'albite à macle polysynthétique, montrant un début de chloritisation. Le sommet est très riche en lattes et plages d'orthose.
- nombreux amas de pistachite.
- mésostase chloriteuse + hématite (magnétite) et ilménite .
- quelques petits fantômes de péridots.

Cette 4ème coulée est recouverte par les calcaires gris Liasiques très riches en filonnets de calcite, le gisement est limité à l' E par une petite fracture dextre.

- SYNTHESE.

Plusieurs structure ont pu être observées sur cette coupe: microlitique, intersertale , intersertale porphyrique, la trame étant faite de lattes d'albite presque toujours à macle polysynthétique et de cristaux plus trapus d'orthose. On a pu également noter la présence d'augites , celle ,constante, des fantômes de péridots, l'abondance de l'épidote et localement celle des vacuoles à calcite et / ou chlorite .

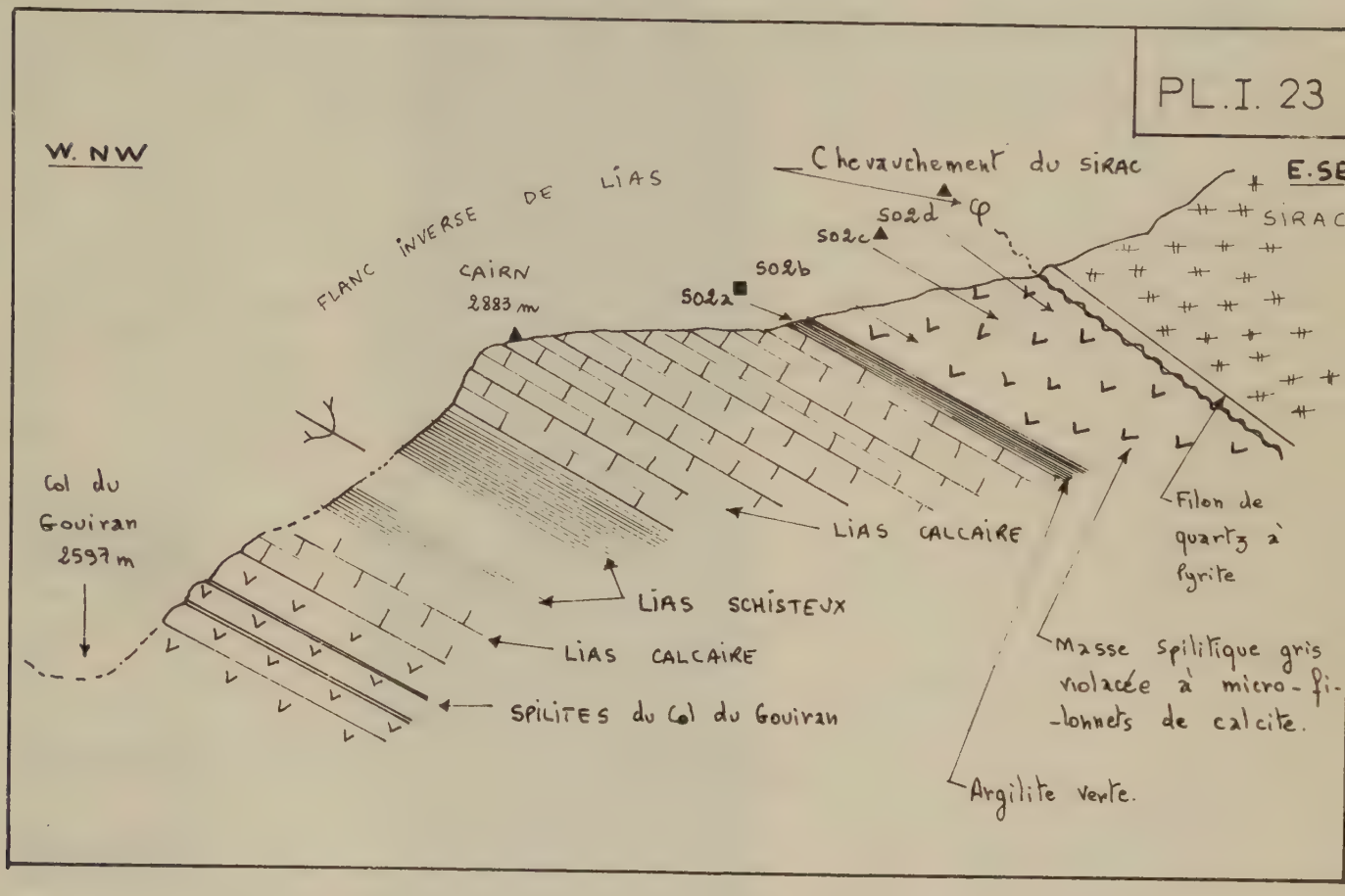
Les horizons intercalaires sont tous représentés par des niveaux"d'argilites rouges", la particularité de cet affleurement est donc l'absence de niveaux dolomitique ou calcaro-dolomitique.

Si ces argilites correspondent uniquement à des cendres fines, il est possible que, du moins dans ce secteur limité, les coulées se soient mises en place en partie à l'air libre .

1.1.13 - AMAS DU GOUIRAN feuille XXX-IV- 37 Orcières N°2 1/20.000

X=913,3 Y=283,4 Z 2885m.

Cet amas spilitique, situé sur l'arête des Gros de Sirac, en rive gauche du glacier de Gouiran juste sous la pyramide signal (2883m) , est pincé entre le Lias calcaire et le "chevauchement" du Sirac.



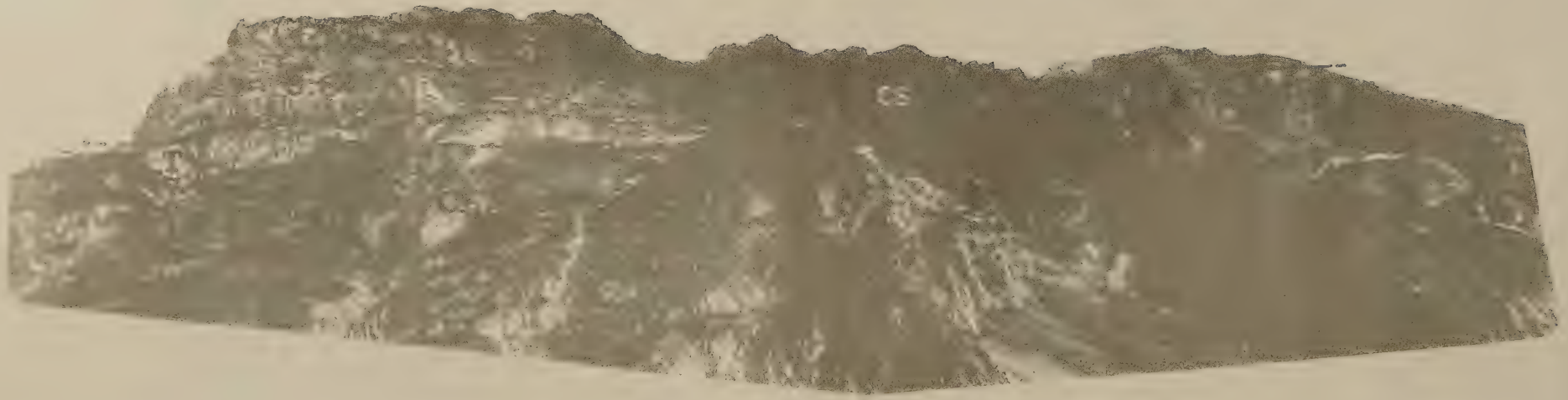
A la base on observe un horizon volcano-sédimentaire: argilite micacée, colorée par les hydroxydes de fer, englobant des lapillis spilitiques :

SO 2a (RX) quartz.chlorite.phengite.albite BT .orthose

chlorite → $Mg_{1,9}Fe_{2,8}Al_{1,3}(Si_{2,7}\ Al_{1,3})O_{10}(OH)_8$ R=0,6 Ripidolite.

L'amas spilitique proprement dit montre, en lame mince, une structure microlitique sur le flanc W et intersertale au coeur. Les laves du flanc W sont très altérées : plagioclases masqués par la chlorite; structure envahie par la calcite, en veinules et plages diffuses; petits amas de quartz microcristallin , mésostase chloriteuse extrêmement riche en hématite (+ ilménite); le coeur mieux conservé montre des lattes d'albite maclée et de nombreux fantômes de péridots à pseudomorphose classique .

Ce gisement,tectoniquement particulier, est à mettre en relation avec les épanchements spilitiques du synclinal mésozoïque de l'aiguille de Morges, et appartient en fait à la bordure NE de ce synclinal.

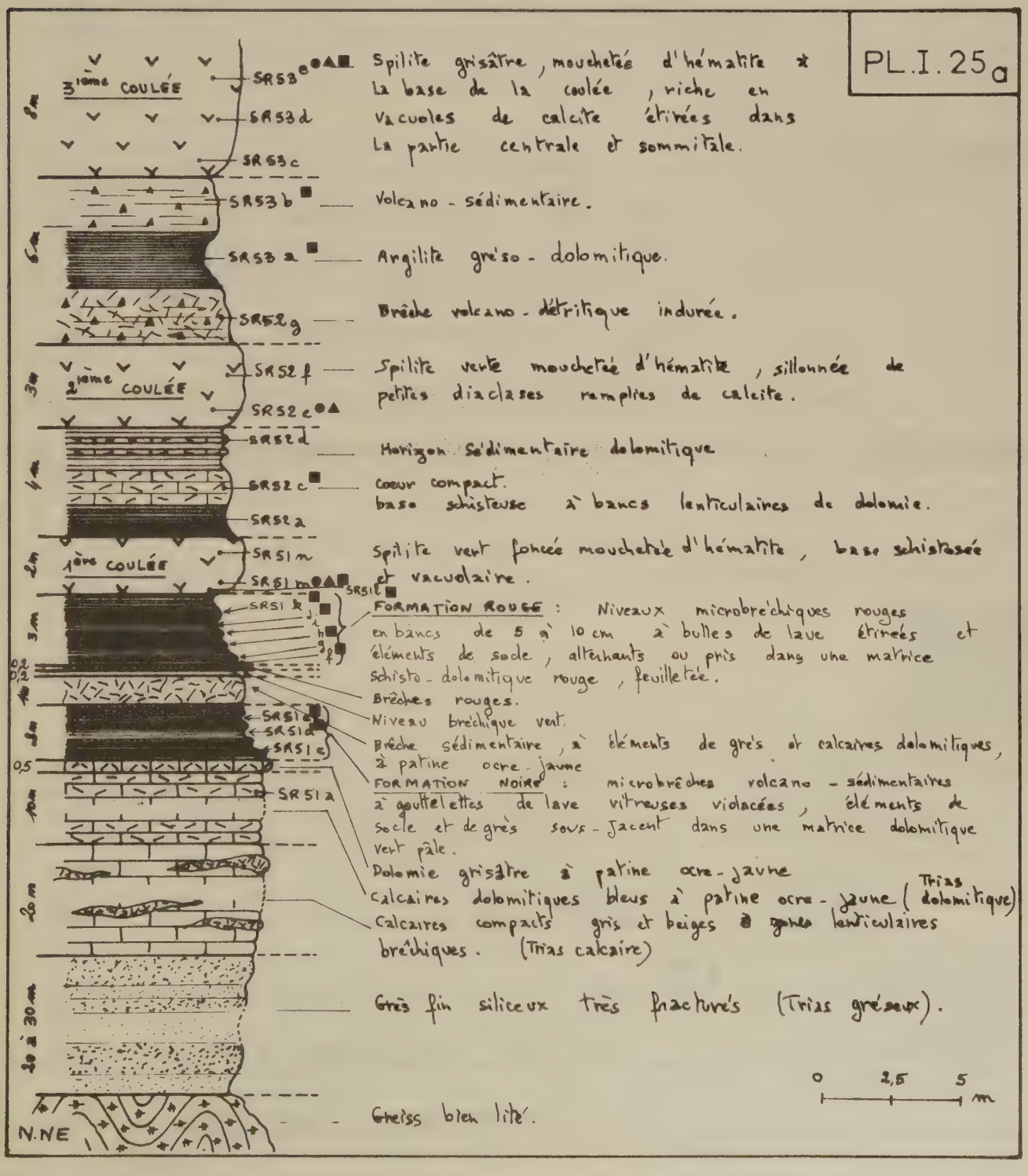


Pl.I.24 - Panorama de la ROUITE versant NW , photo prise de la Cabane Pastorale.
(Cr:cristallin - T: Trias C.S: Coulées spilitiques)

1.1.14 -LA ROUITE feuille XXX-IV-37 Orcières n°3 1/20.000

Située en rive gauche au fond de la vallée du Drac de Champoléon, la montagne de la Rouite culminant à 2662 m. est entièrement constituée par un ensemble spilitique dans lequel nous avons pu distinguer 9 coulées superposées. Leur position tectonique actuelle est la suivante: orientation N60°, pendage d'environ 30° vers le SE. Le flanc SE de la Rouite est donc quasiment en surface structurale. La coupe choisie débute au point de coordonnées : X=916,34 Y=281,08 Z=2170 m. et se poursuit sensiblement le long de l'arête N-NE, du moins tant que le permet la stabilité assez précaire de l'édifice constitué par cet ensemble volcanique.

PL.I.25a



Spilite grisâtre, mouchetée d'hématite * La base de la coulée, riche en vacuoles de calcite étirées dans la partie centrale et sommitale.

Volcano - sédimentaire.

Argilite gréso - dolomitique.

Brèche volcano - détritique indurée.

Spilite verte mouchetée d'hématite, sillonnée de petites diaclases remplies de calcite.

Horizon sédimentaire dolomitique

Coeur compact.
base schisteuse à bancs lenticulaires de dolomie.

Spilite vert foncée mouchetée d'hématite, base schistosée et vacuolaire.

FORMATION ROUGE : Niveaux microbréchiques rouges en bancs de 5 à 10 cm à bulles de lave étirées et éléments de socle, alternants ou pris dans une matrice schisto - dolomitique rouge, feuilletée.

Brèches rouges.

Niveau bréchique vert.

Brèche sédimentaire, à éléments de grès et calcaires dolomitiques, à patine ocre - jaune

FORMATION NOIRE : microbrèches volcano - sédimentaires à gouttelettes de lave vitreuses vidacées, éléments de socle et de grès sous - jacent dans une matrice dolomitique vert pâle.

Dolomie grisâtre à patine ocre - jaune

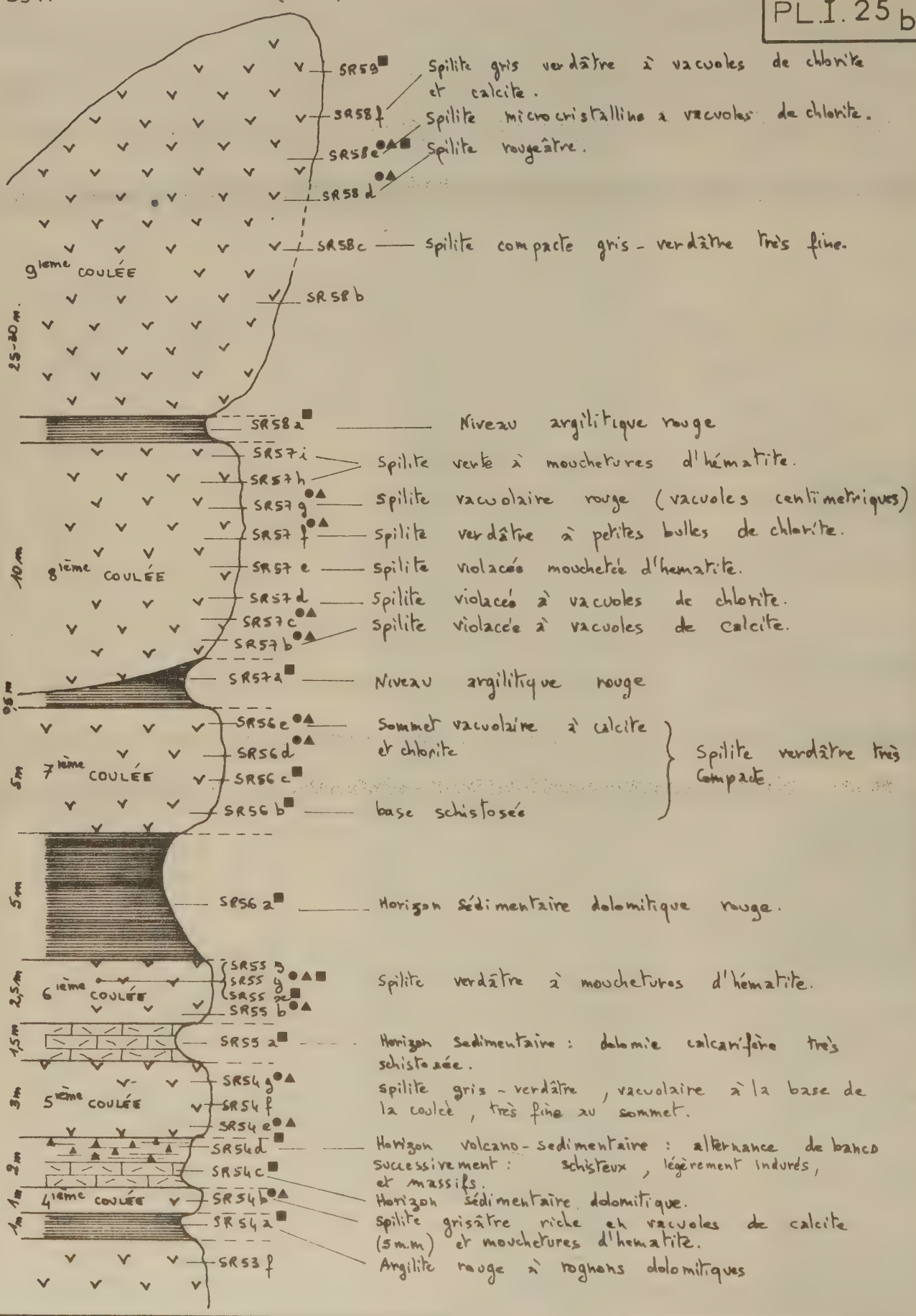
Calcaires dolomitiques bleus à patine ocre - jaune (Trias dolomitique)

Calcaires compacts gris et beiges à zones lenticulaires bréchiques. (Trias calcaire)

Grès fin siliceux très fracturés (Trias gréseux).

Gneiss bien lité.

PL.I.25 b


SSW
LA ROUITE (2663m)
SR59
SR58f
SR58e
SR58d
SR58c
SR58b
9ième COULÉE
25-30m.
SR58a
SR57i
SR57h
SR57g
SR57f
8ième COULÉE
10m
SR57e
SR57d
SR57c
SR57b
SR57a
0,5m
SR56e
SR56d
7ième COULÉE
5m
SR56c
SR56b
5m
SR56a
SR55g
SR55f
SR55e
6ième COULÉE
2,5m
SR55b
1,5m
SR55a
SR54g
SR54f
5ième COULÉE
3m
SR54e
SR54d
SR54c
2m
SR54b
4ième COULÉE
1m
SR54a
1m
SR53f
Spilite gris verdâtre à vacuoles de chlorite et calcite.
Spilite microcristalline à vacuoles de chlorite.
Spilite rougeâtre.
Spilite compacte gris-verdâtre très fine.
Niveau argilitique rouge
Spilite verte à mouchetures d'hématite.
Spilite vacuolaire rouge (vacuoles centimetriques)
Spilite verdâtre à petites bulles de chlorite.
Spilite violacée mouchetée d'hematite.
Spilite violacé à vacuoles de chlorite.
Spilite violacée à vacuoles de calcite.
Niveau argilitique rouge
Sommet vacuolaire à calcite et chlorite
base schistoseé
Spilite verdâtre très Compacte.
Horizon sédimentaire dolomitique rouge.
Spilite verdâtre à mouchetures d'hématite.
Horizon Sedimentaire : dolomie calcarifère très schistoseée.
spilite gris-verdâtre, vacuolaire à la base de la coulée, très fine au sommet.
Horizon volcano-sedimentaire : alternance de bancs successivement : schisteux, légèrement indurés, et massifs.
Horizon sédimentaire dolomitique.
Spilite grisâtre riche en vacuoles de calcite (5m.m) et mouchetures d'hematite.
Argilite rouge à roghons dolomitiques

- la formation noire (2m).

Il s'agit d'une formation typiquement volcano-sédimentaire représentant les premières manifestations volcaniques de ce secteur.
- La base de la formation nous montre en lame mince des lapillis vitreux (≈5mm) bruns (oxydation du fer ferreux) contenant souvent des grains de quartz . Ces lapillis sont " cimentés " par des grains de quartz, dolomite, mica blanc, pistachite,flottant dans une matrice argilitique micacée .
- Le coeur de la formation, très altéré , nous montre des lapillis pris dans une matrice argilitique grèseuse colorée par l'hématite.

SR 51 d (RX) : quartz.phengite.hématite.chlorite.

le sommet est dolomitique:

SR 51 e (RX) :dolomite ,quartz ,phengite.chlorite.

- la formation rouge (2 à 3m).

représente le deuxième épisode volcano-sédimentaire de cette série. Elle débute par un banc de dolomie grèseuse rouge riche en filonnets de calcite: SR 51 f(RX):quartz.dolomite.hématite.calcite.chlorite.

les 3 échantillons prélevés dans les bancs indurés nous montrent des horizons sédimentaires dolomitiques contenant des projections laviques de différentes tailles (généralement lapillis vitreux inférieurs au millimètre et quelques projections plus grosses > 5mm). Parmi les plus grosses certaines conservent des restes de microlites feldspathiques . On note également quelques agrégats microcristallins de quartz et quelques rares épidotes.
SR 51 h(RX): dolomite.quartz,hématite.calcite.chlorite(mica)

les interbancs feuilletés sont caractérisés par l'abondance des lapillis brun-rouge ,à la limite on n'observe plus qu'un agrégat de lapillis cimentés par du quartz et de la dolomite.
SR 51 J(RX) :quartz.dolomite.hématite.phengite.chlorite.calcite.

La partie sommitale de cette formation rouge montre un banc de 20 cm.constitué par une pélite grèseuse ferrugineuse complètement brèchifiée, les fractures sont remplies par de la dolomite.Quelques rares lapillis ont conservé une structure microlitique fluidale nette (brèche intraformationnelle volcano-sédimentaire).
SR 51 k(RX): quartz.dolomite.hématite.chlorite.calcite.phengite.

Toute cette formation est extrêmement riche en hématite ce qui lui confère sa coloration.

- Première Coulée (2m)

En lame mince on observe une structure intersertale très floue. Les lattes feldspathiques sériciticisées sont sans contours nets.La calcite est très abondante, en amas ou filonnets. On distingue de nombreuses olivines pseudomorphosées en chlorite et bordées d'hématite. La mésostase est chloriteuse et riche en grains d'hématite. Celle-ci est aussi associée aux veines de calcite. On observe également quelques cristaux de pistachite et du quartz microcristallin. L'éponte inférieure est très riche en vacuoles de carbonates.
SR 51 l(RX sur vacuoles):calcite.dolomite.quartz.chlorite

chlorite: $Mg_{3,49}Fe_{1,45}Al_{1,06}(Si_{2,94}Al_{1,06})O_{10}(OH)_8$ R=0,29 Pycnochlorite.

SR 51 m(RX) albite.BT(An_{0-5}).quartz.dolomite.calcite.chlorite.
muscovite $2M_1$ .hématite.

chlorite $Mg_{3,66}Fe_{1,05}Al_{1,29}(Si_{2,71}Al_{1,29})O_{10}(OH)_8$ R=0,22 Clochaulite.

sur fraction magnétique de densité supérieure à3,33 SIDERITE+hématite.

Pl.I.26

LEGENDE

La ROUITE (horizon intercalaire 2-3, p.72)-SR 52 g-
- Lumière naturelle.-

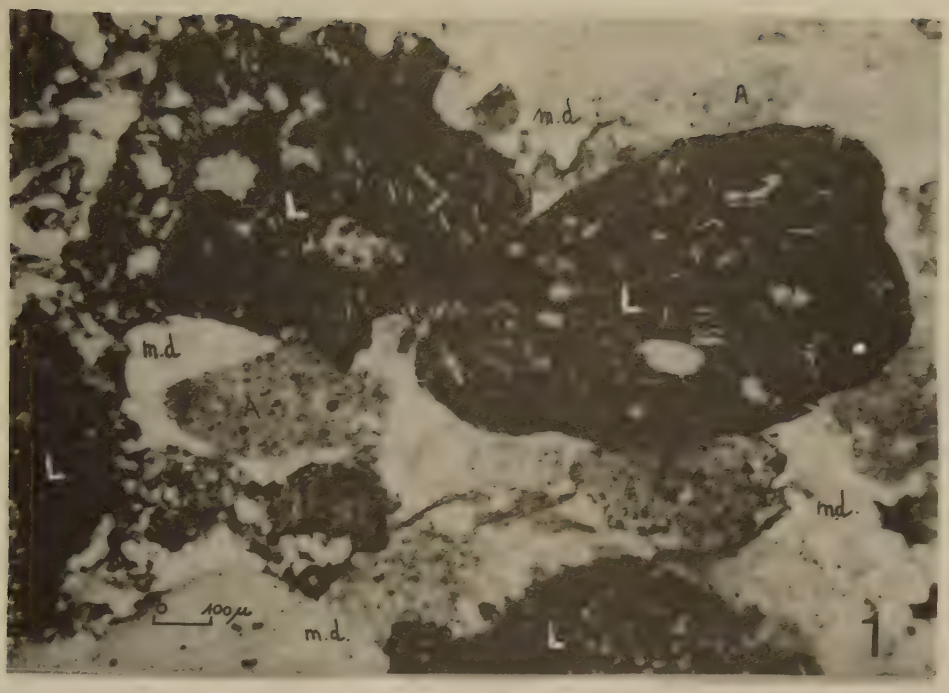
Photo 1 Brèche volcano-détritique: matrice dolomitique(m.d.) cimentant des fragments de lave à structure microlitique (L) et des fragments d'argilite (A).

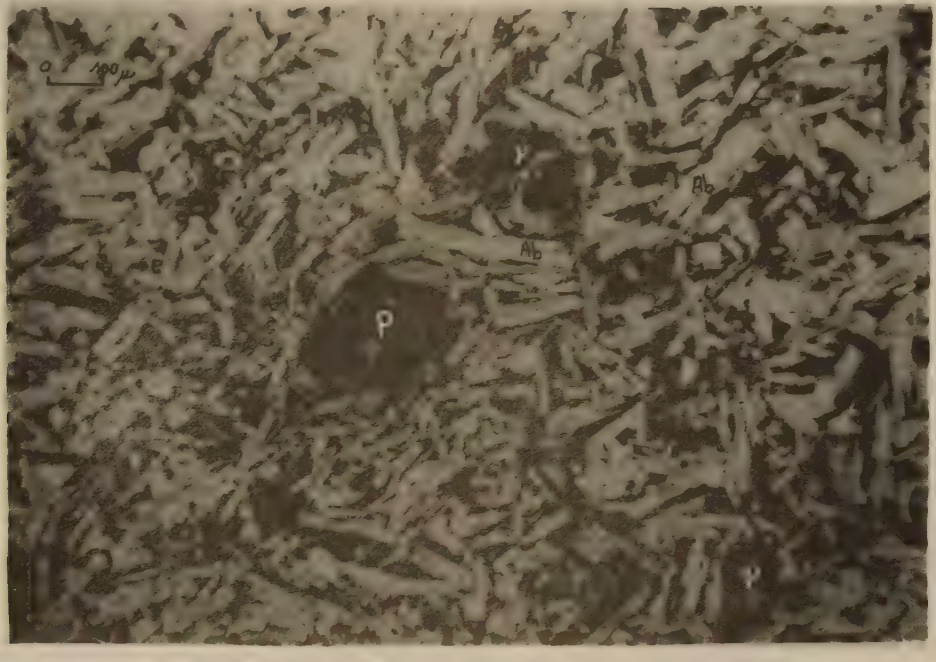
La ROUITE (5ème coulée ,p.73) - SR 54 e -
- Lumière naturelle -

Photo 2 Structure intersertale très serrée (albite, Ab) à mésostase hématitique réduite ,quelques fantômes de péridots presque uniquement transformés en hématite(P).

La ROUITE (8ème coulée ,p.74) - SR 57 g -
-Lumière naturelle -

Photo 3 Structure microlitique porphyrique:
lattes et microlites albitiques dans une mésostase vitreuse hématitique , vacuoles de calcite (V) .


m.d.
A
L
L
m.d
A
L
m.d.
m.d.
L
0 100μ
1


0 100μ
V
Ab
Ab
P
P

Ab
V
M H
Ab
M H
Ab
Ab
V
3
0 100μ

- Horizon intercalaire 1-2 (4m)
4 échantillons récoltés dans les bancs indurés ou schistosées correspondent tous à des niveaux sédimentaires dolomitiques; le coeur de cette formation, très compact, rouge brique, est constitué d'une dolomie à ciment hématitique.
SR 52 c (RX): dolomite.quartz.hématite.chlorite.(mica)

- Deuxième Coulée (3m)
la base est très identique à la première coulée, la structure est peu nette et déformée par de nombreuses veines de calcédoine et calcite, le sommet moins altéré montre des lattes d'albite(An_0) assez limpide .

- Horizon intercalaire 2-3 (6m)
- à la base, sur environ 2m, nous avons une zone très indurée,rouge, d'aspect macroscopique brèchique à éléments variés. L'étude en lame mince nous montre une brèche volcano-détritique où les divers éléments: fragments de lave à structure microlitique, fragments d'argilite gréso-hématitique, amas chloriteux, amas de quartz microcristallin, sont cimentés par de la dolomie.(cf Pl.I.26 photo 1).
- le coeur est représenté par une argilite gréso-dolomitique colorée par l'hématite: SR 53 a(RX): quartz.dolomite.calcite.hématite. chlorite.phengite.
- le sommet est volcano-sédimentaire: dolomie englobant quelques fins lapillis noirs vitreux.

- Troisième Coulée (8m)
Bien qu'épaisse cette coulée est très altérée. La structure intersertale est très floue, les lattes feldspathiques sont complètement séricitisées et envahies par la chlorite. La mésostase chloriteuse est très riche en hématite. Nombreux fantômes de ferro-magnésiens (Principalement péridots, fréquemment automorphes et de taille parfois > à 1mm).Totalement pseudomorphosés par la chlorite avec une bordure hématitique plus ou moins épaisse. Nombreuses veines ou vacuoles étirées de calcite (quelques-unes montrent une fine bordure de pistachite).
SR 53 e(RX):calcite.quartz.albite BT.hématite.dolomite.chlorite. muscovite $2M_1$
chl: $Mg_{3,76}Fe_{1,1}Al_{1,14}(Si_{2,86}Al_{1,14})O_{10}(OH)_8$ R=0,23 Leuchtembergite

- Horizon intercalaire 3-4 (1m)
niveau sédimentaire dolomitique.
SR 54 a(RX): dolomite.quartz.calcite.chlorite.hématite.

- Quatrième Coulée (1m)
Structure intersertale vacuolaire, la trame feldspathique peu nette est presque entièrement masquée par la chlorite et la séricite, les vacuoles sont remplies de quartz et de chlorite, le quartz microcristallin s'insinue entre les lattes feldspathiques, les fantômes de péridots sont assez nombreux.

- Horizon intercalaire 4-5 (2m)
- à la base:dolomie litée (montrant des niveaux plus ou moins argilitiques).
SR 54 c(RX):dolomite.quartz.calcite.chlorite.hématite.phengite.
- dans la partie supérieure on a une alternance de bancs centimétriques volcano-sédimentaires successivement schisteux,peu indurés ou massifs.

L'étude en lame mince montre des niveaux à scories vitreuses et déchiquetées cimentées par de la calcite et des niveaux plus pélitiques colorés par de l'hématite .
SR 54 d (RX):calcite$_{++}$.dolomite$_{++}$.quartz$_{+}$.hématite$_{+}$.chlorite$_{-}$.phengite$_{-}$.

- Cinquième Coulée (3m) (cf.Pl.I.26 photo 2)
La base montre une très belle structure intersertale en lattes (≈ 0,5mm) d'albite à macles polysynthétiques montrant un début de séricitisation et d'envahissement par la chlorite . Nombreuses vacuoles de calcite et quartz microcristallin; la mésostase est presque uniquement constituée par de l'hématite, quelques vermicules de quartz et de chlorite. Nombreux petits fantômes de péridots à coeur chloriteux et bordure de magnétite-hématite (ou entièrement transformés en magnétite-hématite).Le sommet montre une structure aussi déformée que les coulées précédentes, où l'on peut remarquer quelques fantômes de pyroxènes en section rectangulaire.

- Horizon intercalaire(5-6) (1,50m)
Dolomie calcarifère riche en grains de quartz et fortement colorée par l'hématite.
SR 55 a(RX):quartz$_{++}$.dolomite$_{++}$.calcite$_{+}$.chlorite$_{-}$.hématite$_{-}$.phengite$_{-}$.
chlorite → $Mg_{4,19}Fe_{0,55}Al_{1,26}(Si_{2,74}Al_{1,26})O_{10}(OH)_8$ R= 0,12 Sheridanite.

- Sixième Coulée (2,50m)
La structure est assez semblable à celle de la base de la 5ème coulée, mais en plus transformée. Dans cette coulée, 3 échantillons ont été prélevés près d'une zone faillée où s'est développée une altération spéciale concentrique de la lave, due certainement à des circulations hydrothermales. D'ailleurs lors de la confection des lames minces, au sciage, ces échantillons dégageraient une très forte odeur d'H_2S.Ils présentent une structure complètement oblitérée par l'altération: les ferro-magnésiens sont pseudomorphosés par du quartz et bordés d'hématite (ou entièrement transformés en magnétite et hématite). Sur le diagramme RX d'un de ces échantillons (SR 55 y) on ne décèle même plus trace de l'albite.
SR 55 x(RX):albite BT$_{++}$.quartz$_{+}$.calcite$_{+}$.chlorite$_{-}$.hématite$_{-}$.muscovite$_{-}$.
chlorite → $Mg_{3,1}Fe_{1,5}Al_{1,4}(Si_{2,6}Al_{1,4})O_{10}(OH)_8$ R=0,33 Lépidolite.
SR 55 y(RX):quartz$_{++}$.calcite$_{++}$.chlorite$_{-}$.hématite$_{-}$.dolomite$_{-}$.phengite$_{-}$.
chlorite → $Mg_{3,7}Fe_{1.}Al_{1,3}(Si_{2,7}Al_{1,3})O_{10}(OH)_8$ R=0,21 Glochamite.

- Horizon intercalaire 6-7 (5m)
Dolomie très fine microcristalline à gros grains de quartz et très fortement colorée par l'hématite.
SR 56a(Rx) quartz$_{++}$.dolomite$_{++}$.chlorite$_{-}$.hématite$_{-}$.calcite$_{-}$.phengite$_{-}$.
chlorite → $Mg_{3,73}Fe_{1.}Al_{1,27}(Si_{2,73}Al_{1,27})O_{10}(OH)_8$ R=0,212 Glochamite.

- Septième Coulée (5m)
La base et le coeur de cette coulée sont complètement altérés, la structure de type intersertal, est difficilement reconnaissable, les plagioclases sont complètement envahis par la séricite, chlorite, calcite, la mésostase chloriteuse diffuse à travers toute la structure, la lave est très riche en hématite et magnétite, en grains ou en fantômes de péridots. Dans l'échantillon SR 56 c on note l'abondance des cubes de pyrite.

SR 56 b(RX):albite.BT. calcite.hématite.chlorite.quartz.phengite.

chlorite → $Mg_{2,95}Fe_{1,70}Al_{1,35}(Si_{2,65}Al_{1,35})O_{10}(OH)_8$ R=0,37 Ripidolite.

SR 56 c : paragénèse identique + pyrite.

chlorite → $Mg_{2,69}Fe_{2,00}Al_{1,31}(Si_{2,69}Al_{1,31})O_{10}(OH)_8$ R=0,43 Ripidolite.

Le sommet de cette 7ème coulée montre une belle structure intersertale: lattes de plagioclases maclées (0,8-1mm), plages diffuses et grandes lattes d'orthose (> 2mm) maclées Carlsbad ; séricitisation débutante . La mésostase est presque uniquement constituée par de l'hématite et de la chlorite; quelques petits fantômes de péridots et nombreuses vacuoles de calcite souvent associées à de gros vermicules de quartz en plages xénomorphes .

-Horizon intercalaire 7-8 (0,5m)

Argilite grèseuse fortement colorée par l'hématite.

SR 57 a (RX) quartz.chlorite.phengite.hématite.

chlorite → $Mg_{2,95}Fe_{1,70}Al_{1,35}(Si_{2,65}Al_{1,35})O$ (OH) R=0,37 Ripidolite.

- Huitième Coulée(10m)

- la base montre en lame mince une très belle structure microlitique porphyrique : phénocristaux (0,5mm) d'albite (An_0) maclés, très limpides et aux formes nettes, disposés dans une pâte faite de microlites (0,2mm) baignant dans une mésostase vitreuse hématique. (cf.Pl.I.26 Photo 3). Nombreux filonnets et vacuoles étirés de calcite, quartz et chlorite; quelques phénocristaux d'olivine pseudomorphosés par de la chlorite et bordés d'hématite.
- le reste de la coulée montre une structure identique mais d'un type plutôt intersertal; les vacuoles de calcite sont grosses (> 5mm et même plusieurs centimètres dans SR 57 g.) et nombreuses, chlorite intersertale. Dans les échantillons sommitaux(h et i) la mésostase est entièrement chloriteuse, les péridots(fantômes) sont de petite taille (< 0,1mm),mais presque toujours de formes automorphes.

chlorite.SR 57 f. $Mg_{4,5}Fe_{0,2}Al_{1,30}(Si_{2,70}Al_{1,30})O_{10}(OH)_8$ R=0,04 Shéridanite.

- Horizon intercalaire 8-9 (1m)

Argilite grèseuse colorée par l'hématite.

SR 58a (RX) quartz. calcite.chlorite.phengite.hématite.

- Neuvième Coulée (25-30m)

Dans toute la coulée la structure est intersertale très fine, et même microlitique fluidale dans l'échantillon SR 58 d; les plagioclases maclés sont en partie séricitisés et envahis par la chlorite au coeur . On observe de nombreux fantômes de péridots pseudomorphosés par du quartz et / ou de la chlorite et bordés d'hématite. Abondance des oxydes de fer: magnétite.hématite.ilménite, ainsi que des vacuoles à calcite + quartz microcristallin et chlorite. Présence de nombreux petits cristaux, baguettes ou agrégats de pistachite; mésostase chloriteuse.

SR 58 e(RX):albite.oligoclase(An_{10}).orthose.hématite.chlorite.calcite. quartz.

chlorite → $Mg_{3,97}Fe_{0,7}Al_{1,33}(Si_{2,67}Al_{1,33})O_{10}(OH)_8$ R=0,15 Clochanite.

SR 59 (RX) albite BT.chlorite.quartz.calcite.orthose.

chlorite → $Mg_{3,02}Fe_{1,55}Al_{1,43}(Si_{2,57}Al_{1,43})O_{10}(OH)_8$ R=0,34 Ripidolite

Cette dernière coulée est surmontée par le Lias calcaire brunâtre.

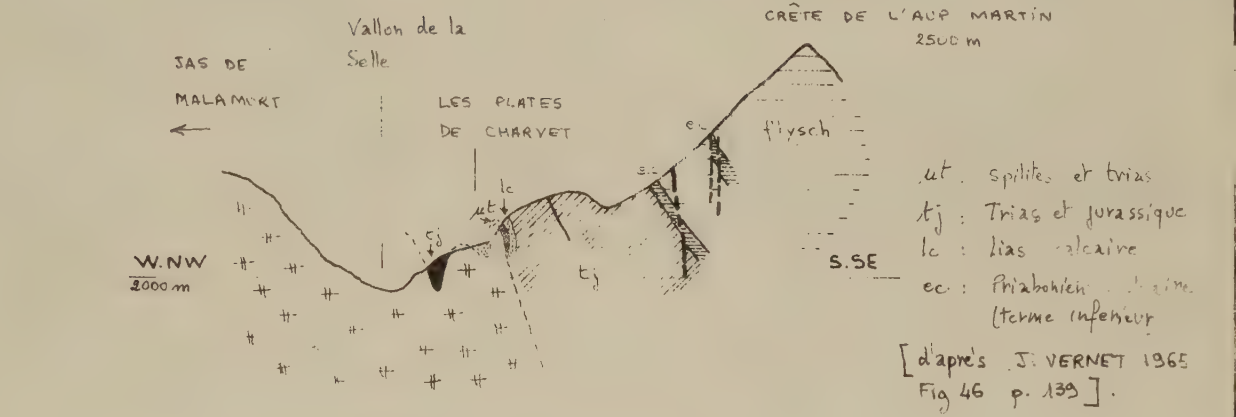
1.1.15 - LES PLATES DE CHARVET feuille XXX-IV-37 Orcières N°3 1/ 20.000

Le gisement situé dans le vallon de la Selle de Vallouise, entre la cabane de Jas Lacroix et les Plates de Charvet, appartient d'après VERNET (1965) à un synclinal pincé de Trias , spilites et Lias, inséré dans le socle cristallin .

X=919,40 Y=285,56 Z=2200m

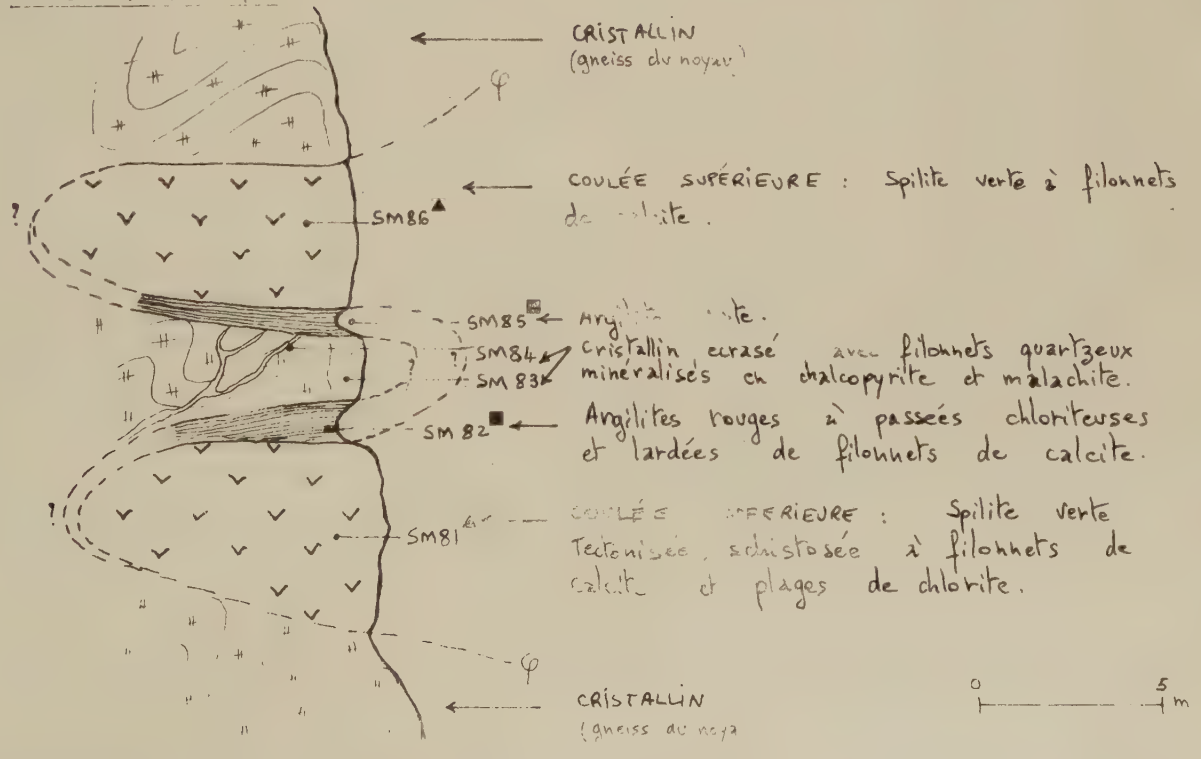
PL. I 27

SITUATION



[d'après J. VERNET 1965 Fig 46 p. 139].

COUPE SYNTHÉTIQUE



- Coulée"inférieure"

Structure intersertale en petites lattes à contours diffus ; mésostase chloriteuse à hématite-ilménite, magnétite, quelques fantômes de péridots et plages étirées de calcite et quartz.

- Argilites rouges

argilite chloriteuse très fortement colorée par l'hématite et les hydroxydes de fer et entrelardée de filonnets de calcite.

SM 81 (RX) : calcite^{++}.chlorite^{+}.quartz^{+}.hématite^{-}.mica^{--}.

chlorite $\longrightarrow$ $Mg_{3,26}Fe_{1,5}Al_{1,24}(Si_{2,76}Al_{1,24})O_{10}(OH)_8$ R=0,32 Ripidolite.

- Argilites vertes

argilite grèseuse: nombreux grains de quartz et paillettes de mica blanc sur un fond chloriteux.

SM 85 (RX) : quartz^{++}.chlorite^{++}.muscovite $2M_1$.calcite^{-}.

chlorite: $Mg_{3,02}Fe_{1,65}Al_{1,33}(Si_{2,67}Al_{1,33})O_{10}(OH)_8$ R=0,35 Ripidolite.

- Coulée"supérieure"

Très semblable à la coulée inférieure dont elle n'est que la prolongation replissée, la structure est intersertale, envahie par la calcite, lattes ébréchées d'albite maclée, chlorite intersertale, mouchetures d'ilménite et magnétite.

1.2 - SYNTHESE DE L'ETUDE MINERALOGIQUE ET PETROGRAPHIQUE DES GISEMENTS SPILITIQUES DU MASSIF DES ECRINS-PELVOUX.

1.2.1 - Les laves spilitiques.

1.2.1.1. - Architecture.

DEBIT.

Si l'on fait abstraction de la tectonique ultérieure qui les a diaclasées, les coulées spilitiques triasiques étudiées, apparaissent massives, sans débit particulier, à l'exception de celles de Beaufin, qui montrent en leur coeur une prismation nette.

Ce même gisement présente en outre quelques formes localisées en " pillow-lavas" à enveloppe chloriteuse constituée uniquement par du ripidolite (cf.Pl.I.14 photos 2 et 3).

TEXTURES.

A travers tous les gisements spilitiques décrits précédemment nous avons pu reconnaître une grande variété de textures, qui peuvent se résumer en 3 types principaux :

a- textures aphanitiques: Ce sont les mieux représentees . La pâte extrêmement fine ne laisse rien percevoir à l'oeil nu, hormis des mouchetures de chlorite et / ou hématite.

b- textures "microgrenues" .Leterme est peut-être impropre, mais il est suggéré par l'aspect saccharoïde de ces roches . Les minéraux ferro-magnésiens (exp.dans Beaufin) ou leurs pseudomorphoses chlorito-hématitiques sont nettement visibles à l'oeil nu .Il peut en être de même parfois pour les lattes feldspathiques (phénocristaux).

c- textures vacuolaires ou amygdalaires. Egalement très bien représentées, ces textures paraissent avoir une répartition anarchique et ne sont pas nécessairement localisées au sommet des coulées; nous en avons rencontrées à tous les niveaux.Deux constituants sont à distinguer: la pâte aphanitique ou microgrenue, et les vacuoles, de taille millimétrique à centimétrique(le rapport pâte/vacuoles peut même être inférieur à 1); on peut en distinguer plusieurs variétés:

- les vacuoles à calcite(et/ou dolomite): les plus nombreuses et les plus volumineuses(parfois > 3cm).
- les vacuoles à calcite(et / ou dolomite) et chlorite:la chlorite peut être centrale, périphérique, ou encore en anneaux concentriques alternant avec la calcite.
- les vacuoles et amygdales chloriteuses .
- les vacuoles à calcite (et/ou dolomite), chlorite et quartz.
- les vacuoles à calcédoine(calcédonite), très rares, elles n'ont été trouvées que dans 2 gisements (Col d'Aspres et Vallon Long).

Dans ces différents cas,la calcite est , soit microcristalline, soit en grands cristaux xénomorphes; la dolomite forme parfois de petits rhomboèdres très nets; la chlorite est ,soit fibroradiée , surtout lorsqu'elle entoure les vacuoles de calcite, soit en serpentins (ripidolite en " pile de sous ") mais le plus généralement elle est cryptocristalline . Le quartz est microcristallin ou en plages xénomorphes .

STRUCTURES.

Les principales structures rencontrées sont au nombre de 3:

a- structure microlitique plus ou moins fluidale, porphyrique ou non; la mésostase, abondante, est essentiellement hématitique (phénomène de dévitrification).

b- structure intersertale ,la mésostase plus ou moins abondante est chlorito-hématitique .

c- structure subophitique ,la mésostase est chloriteuse (chlorite interstitielle).

1.2.1.2 - Minéralogie Pétrographie.

a- les Feldspaths.

Ce sont uniquement des feldspaths alcalins et principalement de l'albite de basse température .

- Feldspath Sodique (Plagioclases)

l'étude radiocristallographique nous a permis de montrer que l'on est en présence d'une série plagioclasique de basse température. La teneur en anorthite a été calculée d'après les courbes de BAMBAER et coll.(1967). La répartition des valeurs obtenues sur une trentaine d'échantillons donne en moyenne : $2\theta\ 131 - 2\theta\ 131 = 1,2$ ce qui correspond à 5 % d'An . Nous avons également estimé au moyen des Rayons X la teneur en orthose des albites, d'après les courbes de WRIGHT (1968) et PARSONS (1968) .

La position en $2\theta°$ de la raie 201 oscillant entre 22°,0 et 22°,10 nous obtenons un pourcentage d'orthose voisin de zéro. Nous pouvons donc dire qu'en moyenne les albites des spilites étudiées ont une composition $An_5\ Or_0$.

L'étude microscopique nous montre généralement l'albite en lattes à bordures déchiquetées et macle polysynthétique courante, mais également à macle albite-Ala.(d'après les abaques de C.BURRI ,1956) Suivant les échantillons les albites sont altérées en séricite ou envahies par la chlorite ; dans ce cas les fins vermicules de chlorite s'insinuent dans les clivages suborthogonaux et gagnent peu à peu toute la latte . Dans la plupart des cas , la détermination optique de la composition moyenne des plagioclases est impossible; les phénocristaux étant trop altérés et les microlites trop petits.

Néanmoins nous avons pu effectuer une dizaine de mesures à la platine Fédorov ce qui nous donne les caractéristiques optiques moyennes suivantes : $\left.\begin{matrix} X \equiv \mp 14° \\ 2V \equiv \mp 80° \end{matrix}\right\}$ Albite An_5

Une analyse chimique des albites triées de l'échantillon P de Beaufin , confirme pleinement la détermination radiocristallographique que nous avions faite : albite BT pure ($An_0\ Or_0$)

---

5 mesures correspondent à une oligoclase An_{15} , mais l'analyse aux rayons X étant faite sur roche totale, et d'autre part ces échantillons étant très altérés, ces mesures peuvent donc être sujettes à caution.

	% d'oxydes
SiO_2	65,95
Al_2O_3	19,35
Fe_2O_3	0,80
Fe O	0,20
Mg O	0,80
Ca O	0,35
Na_2O	10,70
K_2O	0,10
TiO_2	0,50
P_2O_5	0,05
Mn O	traces
H_2O+	0,80
H_2O^-	0,05
total	99,65

(Tableau 1a Albite Bp
Analyse 1002 F.KELLER I973 Grenoble)

Le diagramme RX de cette albite (réalisé dans les mêmes conditions que pour l'étude de la cristallinité des micas, sauf en ce qui concerne les vitesses de déroulement : I/4°, 2 θ minute, 400mm/h) correspond très exactement à ceux des albites pures de base température données dans la littérature .

d Å	I/I_1	hkl	d Å	I/I_1	hkl
6,3663	45	001 orienté	2,5362 kx$_1$	< 1	$3\bar{1}\bar{2}$
5,8904	<1	$11\bar{1}$	2,4415 "	< 2	$\bar{2}41$
5,5737	<1	$\bar{1}11$	2,4288 "	< 1	$15\bar{1}$
4,0239	18	$20\bar{1}$	2,4012 "	< 2	240
3,7697	15	111	2,3840 "	< 1	$31\bar{0}$
3,6582	13	$13\bar{0}$	2,3138 "	< 4	$\bar{3}3\bar{1}$
3,4997	5	$11\bar{2}$	2,2756 "	< 1	$\bar{1}1\bar{3}$
3,4755	2	$22\bar{1}$	2,2435 "	< 1	$13\bar{2}$
3,3696	2	$\bar{1}12$	2,1841 "	< 2	042
3,1888	500	002 orienté	2,1533 "	< 1	060
2,9535	6	$1\bar{3}1$	2,1233 "	16	$00\bar{3}$ orienté
2,9261	8	$02\bar{2}$	2,0741 "	< 1	$2\bar{4}1$
2,8586	2	$13\bar{1}$	1,9985 "	<1	202
2,8365	<1	$13\bar{2}$	1,9778 "	< 1	$06\bar{1}$
2,7824	<1	022	1,9259 "	< 1	$42\bar{1}$
2,6353 kx$_1$	<2	$\bar{1}32$	1,8941 "	< 1	222
2,5551 "	3	$24\bar{1}$	1,8864 "	< 3	
			1,8477 "	< 2	
			1,8228 "	3	$1\bar{1}3$
			1,8008 "	6	
			1,7834 "	2	

Tableau 1b
Albite BT

Certaines coulées sont parcourues de petites veines d'albite BT de néoformation reconnaissable à ses cristaux trapus à plans de mâcle très nets, celle-ci, toujours en quantité subordonnée est très vraisemblablement liée au métamorphisme de faciès schistes verts.

Les sections sont toujours très limpides et à bords francs . L'albite de néoformation se retrouve également en cristaux isolés associés à des prismes de pistachite dans les petites veines de calcite.

- Feldspath potassique.

L'étude radiocristallographique (cf.méthode ci-dessus) nous donne une composition moyenne entre 90 et 100 % d'orthose et 0 et 10 % d'albite. En lame mince cette orthose se présente en petits grains xénomorphes dans le fond de roche et plus rarement en lattes maclées Carlsbad . Elle est donc généralement postérieure à la cristallisation des plagioclases. Le fait que nous ayons d'une part des formes xénomorphes et d'autre part une teneur en Na ne dépassant jamais 10 % nous a permis d'éliminer l'hypothèse de cristaux de sanidine.

b- CHLORITE

Minéral essentiel des spilites, après les feldspaths, la chlorite est toujours cryptocristalline et apparaît en lame mince dans des contextes très variés.

- dans la mésostase ou dans les interstices (parfois en serpentins: ripidolite en " pile de sous ".
- en pseudomorphose des péridots et pyroxènes .
- dans les vacuoles et amygdales.

elle n'apparait jamais en cristaux automorphes.

La détermination en lame mince est illusoire en raison d'une part de leur état cryptocristallin et d'autre part de l'extrême variabilité des caractères optiques. Nous avons donc essayé d'obtenir une détermination approchée de la composition des chlorites au moyen des rayons X(cf.Annexe 1 description de la méthode utilisée). Les chlorites analysées ont été reportées dans la classification de HEY 1954 (les noms d'espèces sont donnés selon cette classification) et dans celle de FOSTER 1962 (Pl.I.28).

La composition d'ensemble de nos chlorites varie dans un étroit domaine, en ce qui concerne la substitution Si/Al ($Si_{2,55-2,95}$), mais elle présente des variations importantes dans la substitution Mg/Fe puisque le rapport R ($R = \frac{Fe}{Fe+Mg}$) varie de R=0,05 à R=0,65.

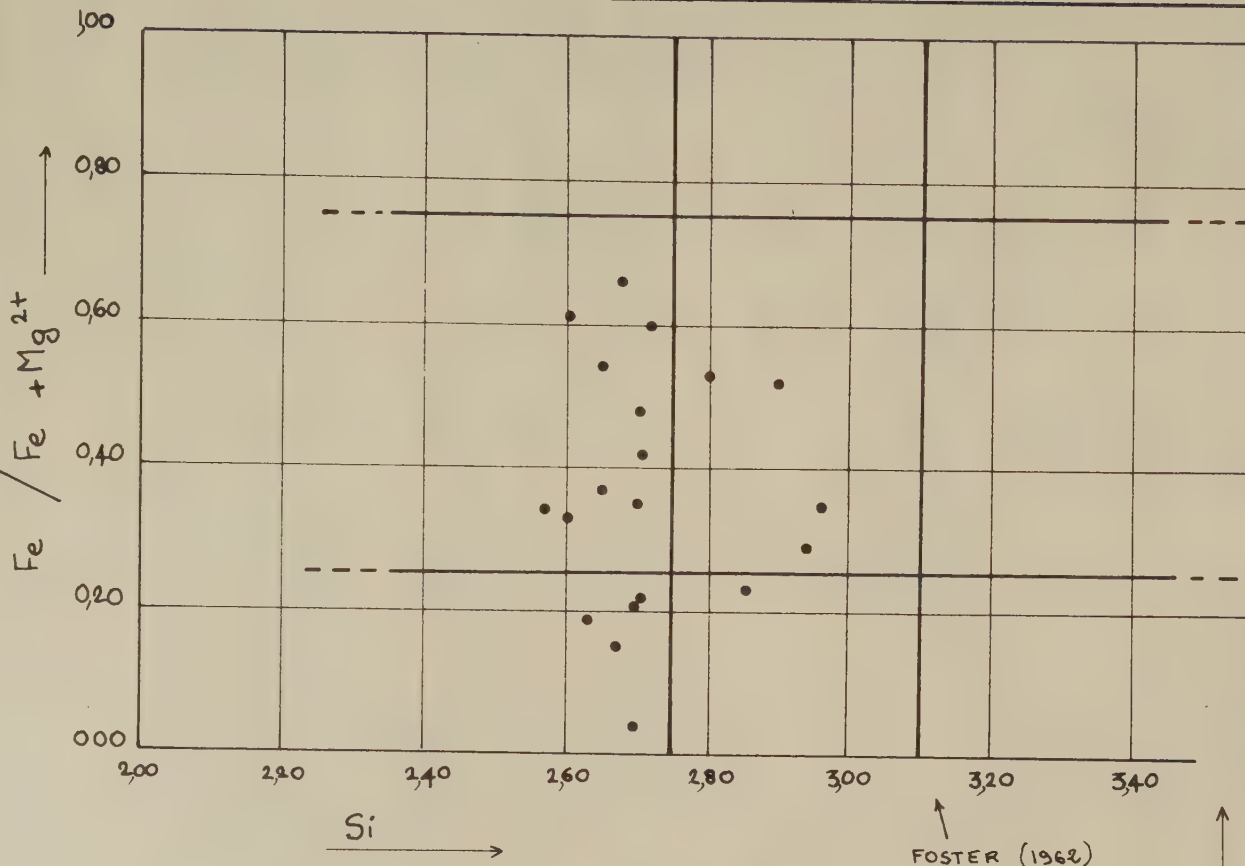
Néanmoins la majorité des points de situe dans le domaine du ripidolite .

Une analyse chimique a été effectuée sur une chlorite séparée d'une coulée de Beaufin P (Pl.I.12)

	% poids d'oxydes	
SiO_2	29,15	
Al_2O_3	16,30	
Fe_2O_3	12,55	
FeO	13,20	
MgO	17,00	
CaO	0,50	
Na_2O	0,25	
K_2O	0,10	
TiO_2	0,15	
P_2O_5	0,05	(Tableau 2a chlorite Bp
MnO	0,25	Analyse 1001 F.KELLER
H_2O+	9,60	1973 Grenoble)
H_2O-	0,75	
total	99,85	

La formule structurale est la suivante (annexe 1) :

$Mg_{2,55}Fe^{3+}_{0,96}Fe^{2+}_{1,13}Al_{0,93}(Si_{2,97}Al_{1,03})O_{10,75}(OH)_{7,24}$ R= 0,45 Pycnochlorite

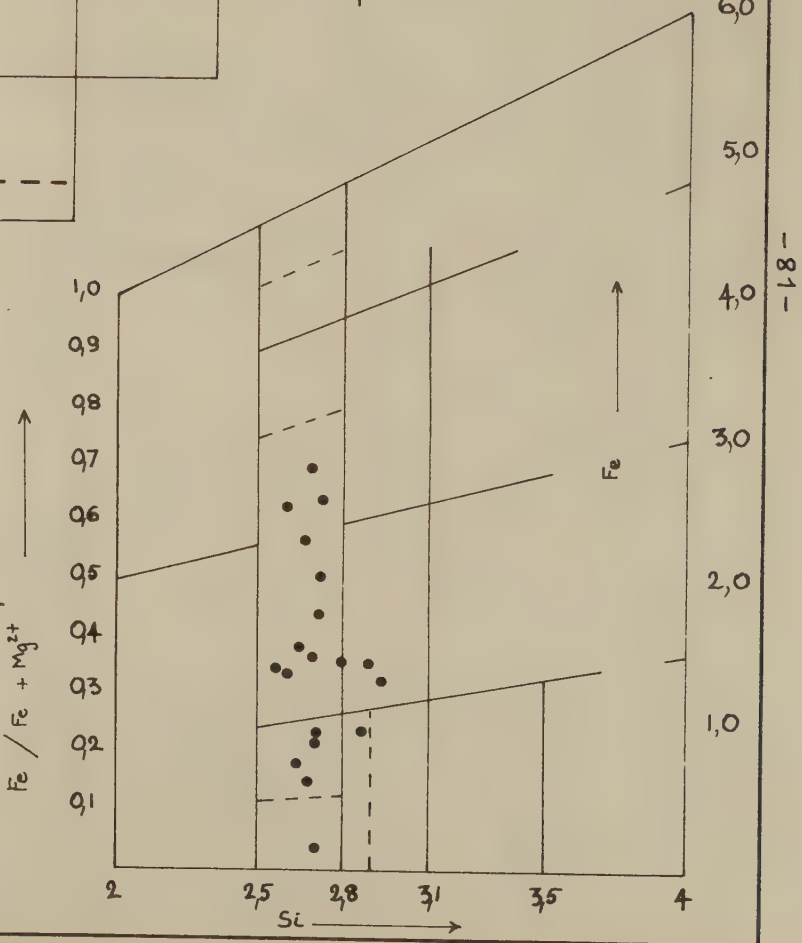


FOSTER (1962)

CLASSIFICATIONS

(cf. Annexe I)

HEY (1954)



CHLORITES DES SPILITES

La détermination RX de cette chlorite (Annexe 1) nous donnant par ailleurs :
$Mg_{2,72}Fe_{2,10}Al_{1,18}(Si_{2,82}Al_{1,18})\ O_{10}(OH)_8$ R=0,44 Pycnochlorite.

Le tableau 2b ci-dessous donne l'indexation du diagramme RX réalisé sur cette chlorite, les conditions d'enregistrement étant les mêmes que pour l'albite (Tb-1b).

d Å	I/I_1	hkl	d Å	I/I_1	hkl
14,164	38	001 orienté	2,3915	<1	$20\bar{2}$
7,1150	100	002 "	2,2675	<1	$20\bar{4}$
4,7399	37	003 "	2,0282 $k\alpha_1$	>2	007
3,3533	76	004 "	2,0195 "	>1	$20\bar{4}$
2,8435	15	005 "	(1,8886 "	<1	$20\bar{6}$)
2,6671	<1	200	(1,7483 "	<1	207)
2,5960	>1	$20\bar{2}$	(1,7113 "	<1)	
2,5551	>1	$20\bar{1}$	1,5749 "	1	$20\bar{8}$
2,4506	1	$20\bar{3}$	1,5442	2	060

Pycnochlorite — Tableau 2b

Une analyse a également été effectuée sur l'enveloppe chloriteuse d'un pillow-lavas (échantillon B_S) :

% poids d'oxydes	
SiO_2	31,5
Al_2O_3	16,2
Fe_2O_3	25,5 (fer total)
MgO	12,8
CaO	1,9
Na_2O	0,15
K_2O	0,57
TiO_2	1,62
Mn_3O_4	0,31
Perte entre 100° et 1000°c	8,9
total	99,37

traces en ppm.	
Sr	16
Ba	52
V	189
Ni	139
Co	62

(Bs: analyse effectuée au laboratoire de Sédimentologie de Strasbourg.)

La formule structurale est la suivante :
$Mg_{1,89}Fe_{1,93}Al_{1,09}(Si_{3,17}Al_{0,83})\ O_{11,68}(OH)_{6,32}$ R= 0,51 Diabantite

La détermination effectuée aux RX est quelque peu différente.
$Mg_{2,15}Fe_{2,5}Al_{1,35}(Si_{2,65}Al_{1,35})\ O_{10}\ (OH)_8$ R=0,54 Ripidolite.

Par rapport à l'analyse précédente , celle-ci apparait très riche en calcium et surtout en titane.

c - PYROXENE.

Très rare dans nos laves , surtout en cristaux frais, on ne le trouve généralement plus qu'en fantôme, entièrement pseudomorphosé par de la chlorite avec les contours soulignés par une bordure de magnétite hématite.Néanmoins trois gisements ont fourni des pyroxènes très frais : Beaufin , Col de Pré-Clos , et Col d'Hurtières. Dans ces trois gisements le pyroxène peut se présenter sous divers aspects:

- phénocristaux souvent automorphes dans les structures microlitiques fluidales.
- nombreux microcristaux dans les structures intersertales microlitiques ou phénocristaux englobant poecilitiquement des lattes de plagioclases .
- cristaux interstitiels subautomorphes dans les structures subophitiques.

L'étude à la platine de Fédorov donne les indices caractéristiques d'une augite: Ng 1c:43 à 47°, 2 v ## + 50°(mais difficilement mesurable) .

L'étude radiocristallographique confirme cette détermination.

En comparant les diffractogrammes obtenus sur les pyroxènes triés, provenant des coulées spilitiques des Ecrins-Pelvoux, et ceux obtenus par N.VATIN-PERIGNON sur 3 augites analysées, par voie humide, de coulées basaltiques du Cantal (Ech.MR 26-S6-S.41), la coïncidence entre eux s'établit parfaitement aussi bien pour la position que pour l'intensité des raies hkl . La moyenne des analyses effectuées sur ces augites du Cantal(analyses d'ailleurs extrêmement proches l'une de l'autre) ne doit pas être très éloignée de la composition réelle des augites de nos spilites . (Tb 3a)

	% poids d'oxydes		% poids d'oxydes
SiO_2:	47,50	K_2O	0,20
Al_2O_3	5,86	TiO_2	1,15
Fe_2O_3	3,2I	P_2O_5	0,08
FeO	4,25	Mn O	0,15
Mg O	15,26	H_2O+	0,28
Ca O	21,71	H_2O-	0,20
Na_2O	0,60	Total :	100,45

Nous en déduisons donc que le pyroxène des spilites est principalement une augite banale calcique et ferro-magnésienne.

Sur le tableau 3b(ci-dessous) nous avons indexé le diffractogramme RX de l'augite (Bp) triée* d'une coulée de Beaufin (mêmes conditions d'enregistrement que pour l'albite BT .Tb.1b.)

d Å	I/I_1	hkl	d Å	I/I_1	hkl
4,6707	6	200	2,0381 "	20	041
4,4592	7	020	2,02I2 "	5	$40\bar{2}$
3,3436	9	021	1,9709 "	5	$13\bar{2}$
3,2249	(100)	220	1,8313 "	8	222
2,9941	68	$22\bar{1}$	1,7502 "	15	150
2,9430	82	310	1,6240 "	46	$22\bar{3}$,$53\bar{1}$
2,8974	23	$31\bar{1}$	1,6134 "	12	440
2,5626 $k\alpha_1$	30	$13\bar{1}$	1,5612 "	11	600
2,5266 "	24	002,$20\bar{2}$	1,5481 "	7	350
2,5108 "	30	$11\bar{2}$,221	1,5189 "	<5	$402,62\bar{1}$
2,2938 "	I5	311	1,5049 "	10	$13\bar{3}$
2,2131 "	<5	112	1,4857 "	22	060
2,2069 "	6	$02\bar{2}$			
2,1982 "	10	$22\bar{2}$			
2,1511 "	22	330			
2,1314 "	29	$33\bar{1}$			
2,1068 "	19	$42\bar{1}$			

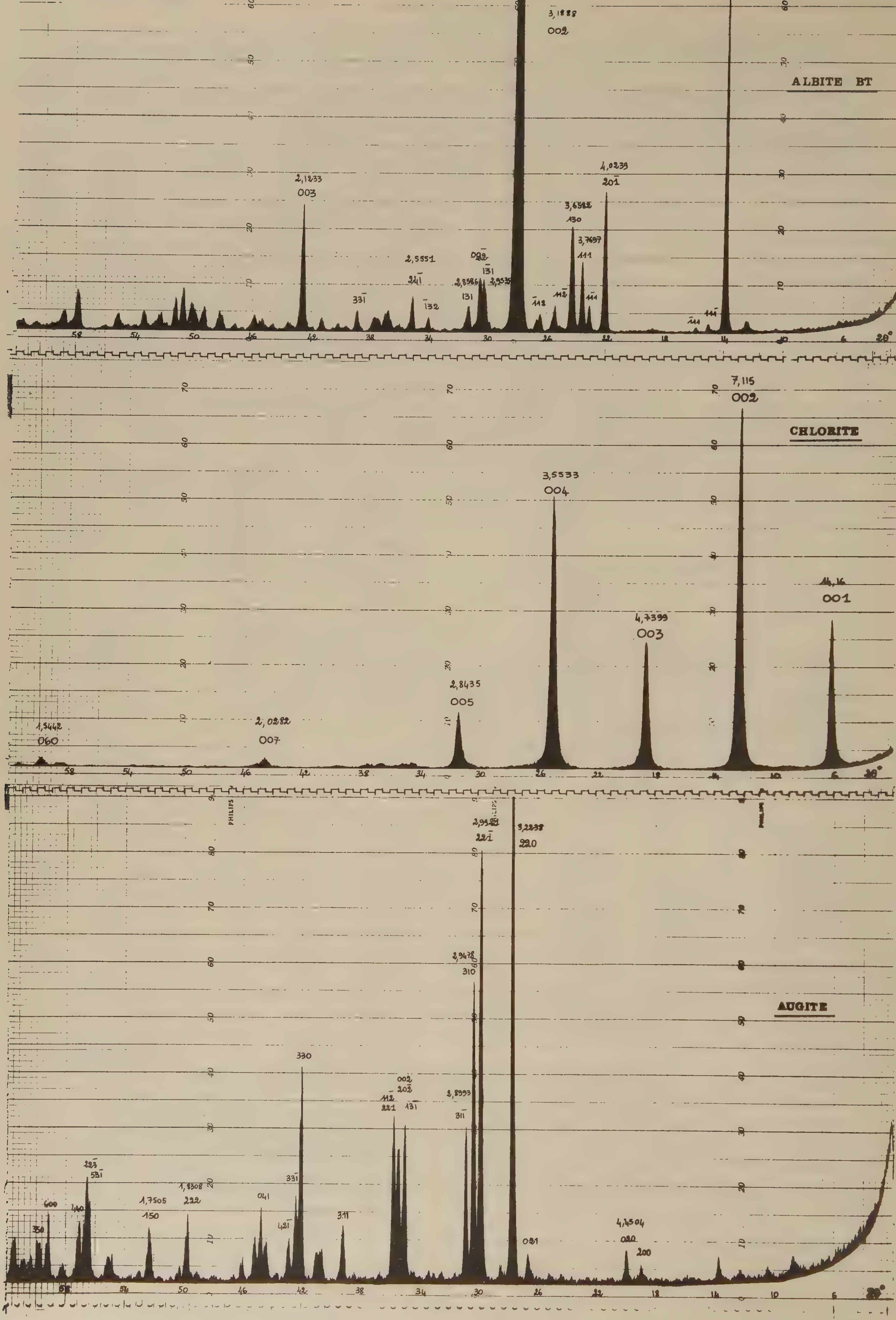
AUGITE calcique et ferromagnésienne

Tableau 3 b.

---

* provenant

PL I 29


ALBITE BT
3,1888
002
4,0239
201̄
2,1233
003
3,6582
130
3,7697
111
2,5551
241̄
CHLORITE
7,115
002
3,5533
004
4,7399
003
2,8435
005
2,0282
007
1,5442
060
001
AUGITE
2,9951
221̄
3,2238
220
2,9478
310
330
2,8993
311̄
1,7505
150
4,4504
020
200
PHILIPS

d- CARBONATES

Ce sont principalement de la calcite , plus rarement de la dolomite ,ou encore de la sidérite.(déterminations RX).Ces carbona--tes constituent les minéraux des vacuoles(en association fréquente avec la chlorite), de la mésostase (en plages diffuses envahissant la lave), des filonnets secondaires liés à la tectonique et parfois de pseudomorphose des ferro-magnésiens.

e- QUARTZ

Il se présente sous divers aspects :
- en cristaux xénomorphes isolés dans la mésostase;
- en plages microcristallines ou en agrégats xénomorphes, seuls ou accompagnés par de la calcite et quelquefois par de la chlorite principalement dans les vacuoles .
- soit sous forme de vacuoles à calcédonite associée ou non à de la chlorite.

f- MINERAUX OPAQUES.

La fraction opaque des spilites est essentiellement constituée d'hématite et d'ilménite qui représentent vraisemblablement l'altération de la titano-magnétite, dont il reste de nombreuses sections cubiques. L'ilménite en grains informes,montrant souvent des exsudations de leucoxène, ou en fines baguettes, se répartit dans la mésostase, de même que les sections de magnétite. L'hématite est très souvent liée à la titano-magnétite sur les bordures ou dans les clivages des fantômes de ferro-magnésiens. On la trouve également en mouchetures dans la mésostase .

Magnétite et ilménite en baguettes sont vraisemblablement contemporains et de cristallisation précoce, l'hématite ,elle,apparais--sant plutôt comme un minéral d'altération et de pseudomorphose.

On note quelques grains de pyrite souvent liés à des vacuoles ou filonnets calcitiques, et enfin certaines coulées très altérées sont très riches en limonites (principalement goethite) . Sur 3 fractions lourdes séparées de coulées , nous avons mis en évidence, aux Rayons X , la présence de chalcopyrite, galène et malachite.

g- PRODUITS MICACES

Uniquement représentés dans les spilites par la phengite et la muscovite $2M_1$,ils ne sont décelables qu'à l'analyse radiocristallographique et sont la conséquence de l'altération des feldspaths. Les mesures de cristallinité de ces micas nous permettent de confirmer l'existence d'un métamorphisme épizonal d'âge alpin .(voir étude détaillée au paragraphe 1.2.2)

h- MINERAUX ACCESSOIRES.

Peu nombreux , ils sont principalement représentés par les épidotes (RX:pistache et piedmontite). Celles-ci se présentent en grains ou en petits prismes trapus; les plus beaux cristaux sont liés aux filonnets à calcite et albite de néoformation. Le sphène, surtout représenté par les exsudations de leucoxène liées à l'ilménite, et l'apatite sont très rares et n'ont été rencontrés que dans quelques gisements .Grenat (type hydrogrossulaire) et amphibole n'ont été mis en évidence (RX) que sur la fraction lourde d'un seul échantillon (Ech.Bp de Beaufin).

i - PERIDOTS

Uniquement reconnaissables à leur forme, ils se présentent le plus souvent en cristaux automorphes, ou à contours légèrement arrondis, bordés d'une bande d'hématite associée ou non à des restes de titanomagnétite . Les anciens clivages sont également pareillement soulignés. Le coeur est généralement chloriteux, ou parfois remplacé par un cristal xénomorphe de calcite ou de quartz et entouré de chlorite, mais les pseudomorphoses peuvent être uniquement chloriteuses ou hématitiques.

j- RESUME

La minéralogie globale des spilites du massif des Ecrins-Pelvoux est donc la suivante :
albite BT(An_5).orthose.ripidolite(s.l.)augite calcique et ferro-magnésienne.calcite.dolomite.sidérite.titano-magnétite.hématite. ilménite.pyrite.limonites.séricite(muscovite $2M_1$ et phengite) . quartz.pistachite.piedmontite.sphène(leucoxène) et apatite.

Mais la paragénèse de base peut se réduire à quatre termes essen-tiels: Feldspath alcalin - chlorite - minéraux opaques -carbonates

l'ordre de cristallisation de ces divers minéraux peut se résumer de la façon suivante :

Minéraux précoces		péridot + oxydes de fer et de titane(spinelles)
		trame feldspathique + augite
Minéraux tardifs	↓	(chlorite de dévitrification et de pseudomorphose,
		(quartz, oxydes de fer de destabilisation ,
		(minéraux à affinités hydrothermales : séricite,
		(calcite, dolomite, pyrite.

On voit donc se poser un des problèmes essentiels des laves spilitiques, c'est à dire la coexistence de l'augite et de l'albite, soit en d'autres termes celle de deux paragénèses de haute et basse température.

S'agit-il d'une cristallisation synchrone d'augite et d'albite (comme sembleraient le montrer les augites subautomorphes incluant poecilitiquement des lattes feldspathiques), alors que l'on devrait avoir augite et labrador ? ou bien l'albite n'est-elle qu'une pseudomorphose d'un ancien plagioclase calcique, montrant une substitution ion par ion à l'échelle du cristal, au niveau d'un stade deutérique ?

L'étude minéralogique ne peut à elle seule résoudre ce problème. Les contours souvent effilochés, les plans de macles souvent très flous pourraient faire penser à une albite de substitution avec augmentation de volume et distorsion du réseau cristallin (CANN 1969) mais les laves spiliques montrent parfois des structures " trop belles " selon certains auteurs (JUTEAU 1971) pour pouvoir invoquer une cristallisation secondaire de l'albite . Nous essayerons d'approfondir ce problème dans le reste de l'étude, en particulier avec l'étude géochimique.

Il faut noter ici la particularité des gisements spilitiques du Beaumont : Aspres les Corps - Col de Pres-Clos - Col d'Hurtières - Beaufin. Tous ces gisements sont caractérisés par l'abondance de l'augite très souvent en cristaux automorphes et non altérés. Ces gisements montrent également très souvent une structure de type doléritique, en particulier pour les laves de Beaufin dont les faciès sont très comparables à ceux des dolérites plus récentes du Cantal.

1.2.2. LES HORIZONS INTERCALAIRES

1.2.2.1 Les principales formations et leur minéralogie.

L'étude minéralogique et pétrographique des formations présentes entre les coulées spilitiques nous a permis de mettre en évidence plusieurs types principaux :

a- les formations argilitiques.

De couleur rouge-violacée ou verte, ces formations sont généralement d'épaisseur métrique, indurées, mais montrant souvent un débit schisteux ou en " frites " . L'analyse radiocristallographique nous a permis de mettre en évidence la paragénèse suivante : quartz-chlorite-phengite ou muscovite $2M_1$-calcite et / ou dolomite hématite . Les proportions des divers minéraux variant d'un horizon à l'autre,certaines sont très chloriteuses et micacées, d'autres très quartzeuses, d'autres enfin plus calcitiques et / ou dolomitiques.

Nous avons choisi de conserver le nom d'argilite pour 3 raisons:
- le grain est extrêmement fin, la roche est peu ou pas litée ,on ne distingue pas de structure foliacée; vu la finesse du grain , seule l'analyse aux rayons X peut nous renseigner sur la nature des différents minéraux.
- Ceux-ci sont justement pour la majeure partie représentés par la chlorite et les phengites ou la muscovite $2M_1$.

L'absence de véritables minéraux " argileux " s'explique,comme on le verra plus loin, par le métamorphisme général de faciès schistes verts.
- ces formations ont été ensuite indurées par diagénèse.

Une analyse chimique a été effectuée sur une argilite rouge (MU 72 a)provenant du gisement du Col d'Hurtières (Tb 4)

	% poids d'oxydes		traces en ppm	
SiO_2	49,00		Ba	274
Al_2O_3	I8,90		Co	19
Fe_2O_3	9,46		Cr	217
Mn_2O_3	0,06		Cu	16
Mg O	2,78		Ni	102
Ca O	3,06		Sr	65
Na_2O	0,09		V	128
K_2O	7,00			
TiO_2	1,43			
Perte au feu	7,23	dont CO_2 2,39		
total	99,01			

[Tableau 4 argilite rouge MU 72 a. Analyse 30796 CRPG Nancy 1972]

b- les formations volcano-sédimentaires.

Comme nous l'avons défini dans le préambule, ce sont des formations sédimentaires liées à des projections de cendres, lapillis ou scories volcaniques .

La matrice sédimentaire est généralement dolomitique, mais parfois argilitique . (cf.Pl.I.20 photo 2, Pl.I.26 photo 1) .Les matériaux pyroclastiques sont de toutes tailles , mais dépassant rarement 2 cm de diamètre, ils sont entièrement " vitreux " ou contiennent de fins microlites feldspathiques, le verre, lorsqu'il est toujours remplacé par de l'hématite et des hydroxydes de fer. Dans quelques rares gisements on trouve également parmi les projections quelques lattes de plagioclase et des cristaux de

péridots entièrement hématitisés. L'analyse radiocristallographique, de nombreux échantillons de ce type(cf.par.1.1.), nous donne la paragénèse suivante :
dolomite-quartz-hématite-chlorite-phengite ou muscovite $2M_1$ - plagioclase (souvent assez calcique) -orthose-calcite.

Ces formations volcano-sédimentaires sont généralement localisées à la base des premières coulées, une phase explosive a donc précédé la phase effusive. Ces niveaux pré-effusifs sont particulièrement bien représentés à la Rouite par la formation noire et la formation rouge. On note également d'autres importants niveaux de même nature intercalés entre les coulées, par exemple au Col des Chevrettes et de Clapouse indiquant que les stades explosifs et effusifs sont alternés, mais toutefois cette alternance semble plus particulièrement liée aux premières manifestations volcaniques .

Selon toute vraisemblance ces projections sont retombées dans un milieu lagunaire ou marin à faible tranche d'eau.

c- les formations dolomitiques.

Ce sont essentiellement des dolomies pures, des dolomies calcarifères et plus rarement des calcaires dolomitiques. Ces niveaux sont très durs,compacts, généralement colorés en rose ou en rouge par des pigments hématitiques. Le grain est le plus souvent fin et régulier. L'analyse aux rayons X montre toujours la même paragénèse avec des proportions variables des différents minéraux:

Dolomite-quartz-hématite-calcite-chlorite-mica blanc.

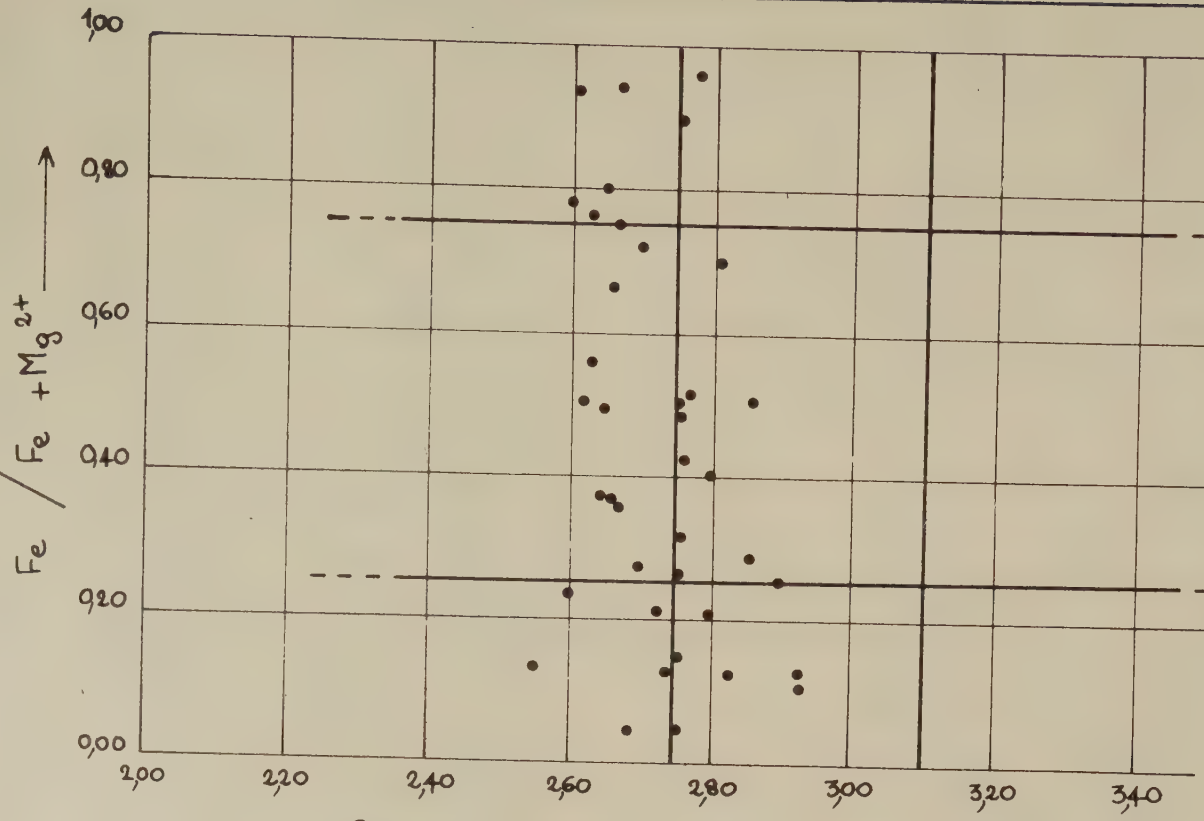
En se référant à la classification de BERNARD(1969) utilisée par SAUPE(1973) on peut définir ces dolomies comme étant des dolomies syngénétiques de précipitation directe. Ces formations ne se rencontrent que rarement dans les parties supérieures des gisements spilitiques; elles sont remplacées par des horizons plus argilitiques voire par des pélites calcaires annonciatrices de la sédimentation liasique.

d- les formations brèchiques.

Elles sont assez rares. Ce sont surtout des brèches intraformationnelles argilitiques ou dolomitiques à ciment calcitique, ou des brèches intraformationnelles spilitiques ou volcano-détritiques à ciment calcitique ou dolomitique.

e- Réflexions sur la coloration rouge, verte ou violette des formations sédimentaires intercalaires.

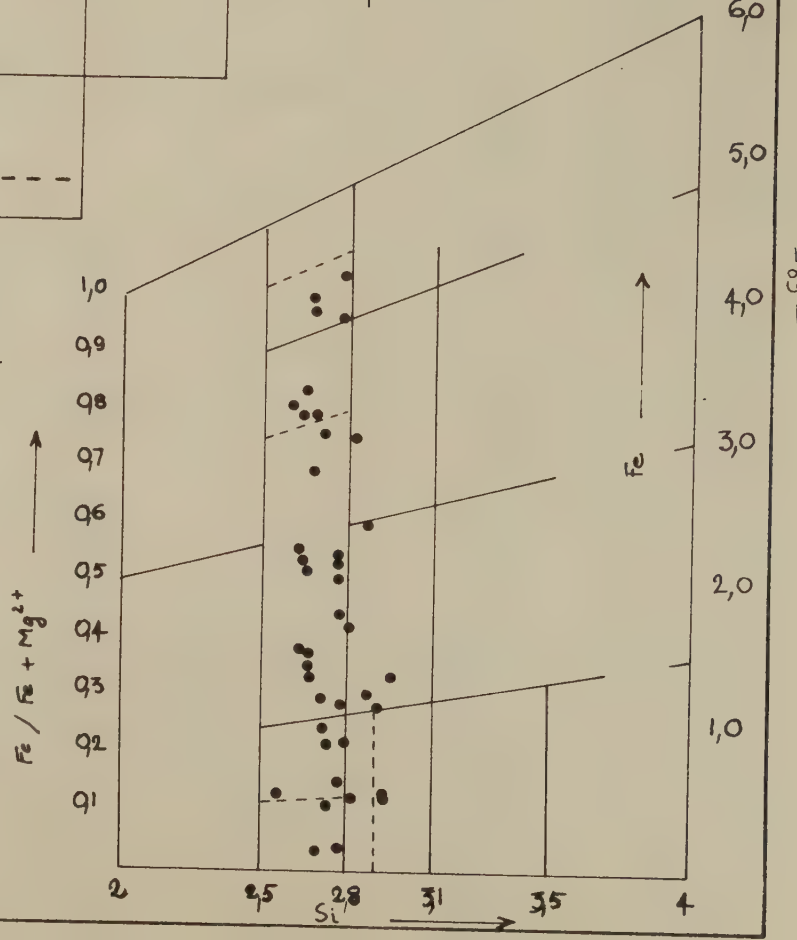
Des études antérieures (JANOV,1956-STRAKHOV,1957) ont permis d'admettre que cette coloration, qu'elle soit verte ou rouge, est due à des pigments d'oxydes de fer et dépend de la valeur du rapport Fe^{3+}/Fe^{2+}. Cette valeur, calculée pour nos argilites analysées, montre bien une nette différence entre argilites vertes (0,20 à 0,90) et argilites rouges (2,7 à 15). La coloration verte est issue des teintes rouges par réduction et , dans le cas de nos gisements, fortement accentuée par la présence plus abondante de chlorite. Quant à la teinte violette, elle serait due, selon les mêmes auteurs, à un rapport déterminé entre les teneurs en oxydes de fer et de manganèse .(Pour ces roches Fe^{3+}/Fe^{2+} est très supérieur à 10).



CLASSIFICATIONS — FOSTER (1962)

CLASSIFICATIONS — HEY (1954)

(cf. Annexe I)



CHLORITES DES HORIZONS INTERCALAIRES.

f - Les chlorites des horizons intercalaires.

L'étude radiocristallographique nous montre une répartition à peu près identique à celle des spilites en ce qui concerne la substitution Si/Al . Si 2,55-2,95, mais en revanche la substitution Fe/Mg varie d'un pôle purement magnésien(shéridanite)à un pôle purement ferrifère (bavalite): R=0,05-0,96 (cf.Pl.I.30)

g - Etude de la cristallinité des micas.

Les échantillons ont été analysés selon la technique, imaginée par WEAVER et perfectionnée par KUBLER (1968). Elle consiste à mesurer la largeur à mi-hauteur du pic à 10 Å de l'illite ou des micas . Cet indice de cristallinité dépendant étroitement des conditions expérimentales, les indices en valeurs absolue ne sont donc pas directement comparables d'un laboratoire à l'autre .Afin de pouvoir replacer les limites entre epizone - anchizone et diagénèse, nous avons analysé 5 échantillons fournis par J.APRAHAMIAN et étalonnés par B.KUBLER à Neufchâtel. Le tableau ci-dessous montre les diverses mesures effectuées et les nouvelles limites calculées.(tableau 5)

n°Ech.Réf. APRAHAMIAN	KUBLER - Neufchâtel		-Grenoble-		
	1 à h/2 du Pic à 10 Å	% d'erreur	1 à h/2 du Pic à 10 Å	% d'erreur	
A I A	2,02	4,06 %	2,07	2,42 %	EPIZONE
H A L	2,38	5,30 %	2,72	2,20 %	
	2,5		2,8		
587	3,10	6,10 %	3,58	1,95 %	ANCHIZONE
I F 2	4,00	3,52 %	4,82	2,07 %	
	4,2		5,1		
514	4,75	4,06 %	5,79	1,90 %	DIAGENESE

Conditions Standard
40 KV.18mA Cu Kx

2° 2θ° minute 1200 mm/h
fentes 1° -0,1°- 1°
Compteur proportionnel 1625 V.
discrimination :
lower level 330 (33V)
Window 140 (14V)

Conditions standard
40 KV. 20mA Cu Kx

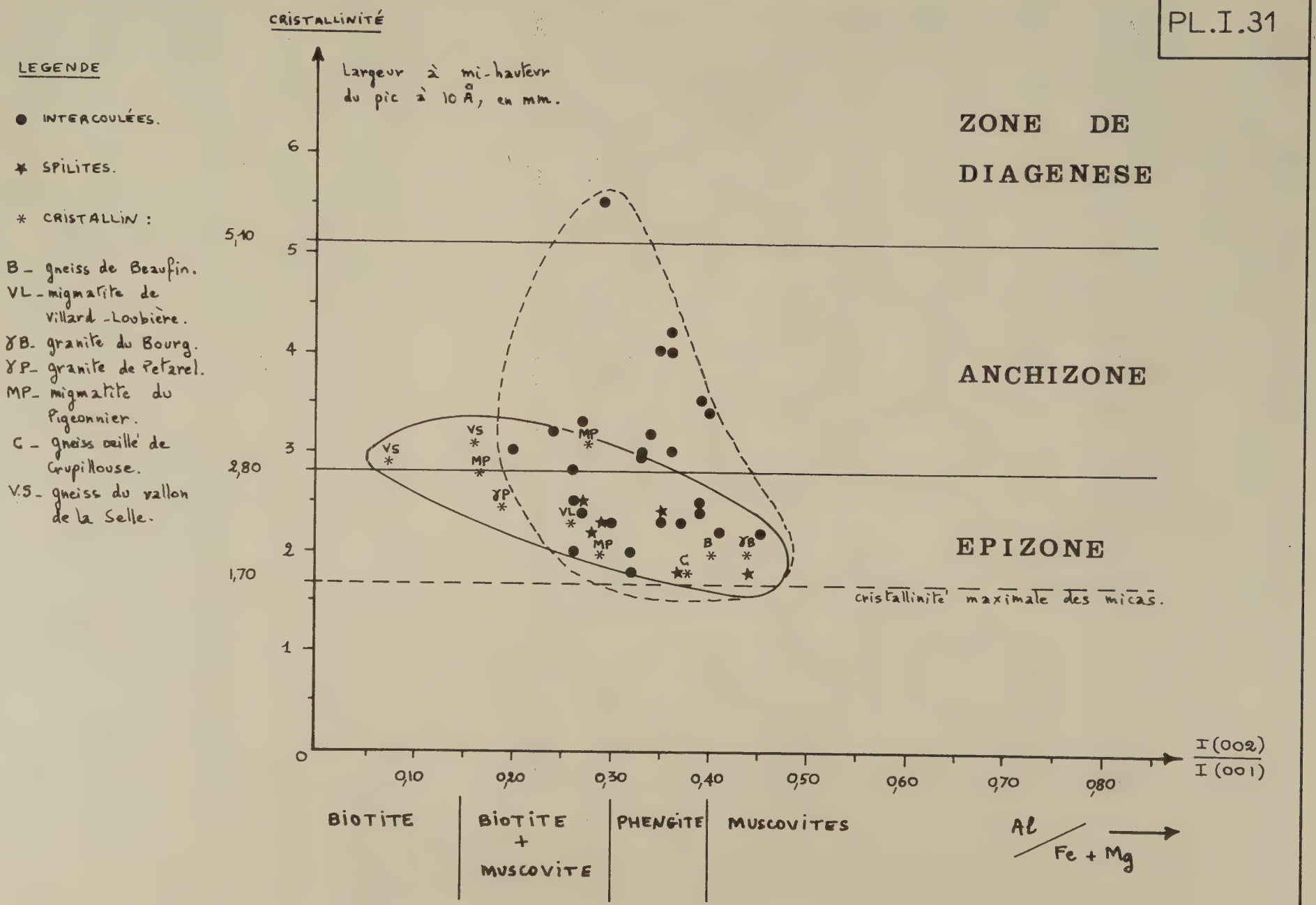
½° 2θ° minute 400 mm/h
fentes 1° - 1°
Compteur proportionnel 1660 V.+ monochromoteur.
discrimination :
canal et seuil 300
seuil 323
gain maximum :
alimentation HT 804.

Selon la méthode d'ESQUEVIN (1969) nous avons reporté (Pl.I.31) les indices de cristallinité de nos micas, en fonction du rapport des intensités des pics à 5Å et 10Å : I(002)/I(001) (notations en 1M) qui est un des rapports intéressant pour séparer les différents types de micas: le rapport Al/Fe + Mg dans les octaèdres croissant en fonction du rapport I002/I001.

- Interprétation.

Nous pouvons voir (Pl.I.31) que les points représentatifs des horizons intercalaires et des coulées montrent une même zone de composition centrée sur le domaine des phengites.

Les mesures de cristallinité des micas des spilites étudiées se groupent dans le domaine de l'épizone. Pour les horizons interca-


CRISTALLINITÉ
Largeur à mi-hauteur du pic à 10 Å, en mm.
LEGENDE
● INTERCOULÉES.
✱ SPILITES.
* CRISTALLIN :
B - gneiss de Beaufin.
VL - migmatite de Villard-Loubière.
γB. granite du Bourg.
γP - granite de Petarel.
MP - migmatite du Pigeonnier.
C - gneiss oeillé de Crupillouse.
V.S - gneiss du vallon de la Selle.
ZONE DE DIAGENESE
ANCHIZONE
EPIZONE
5,10
2,80
1,70
cristallinité maximale des micas.
0,10
0,20
0,30
0,40
0,50
0,60
0,70
0,80
I(002) / I(001)
BIOTITE
BIOTITE + MUSCOVITE
PHENGITE
MUSCOVITES
Al / Fe + Mg

laires,suivant qu'ils correspondent à des gisements éloignés ou proches du socle cristallin, les mesures se dispersent de la zone de diagénèse à l'épizone supérieure. Cette observation concorde avec celle de J.APRAHAMIAN(communication orale) pour lequel la cristallinité des micas du Lias de la bordure occidentale du massif des Ecrins-Pelvoux et de Belledonne est plus élevée à l'approche des massifs cristallins.

Nous avons analysé également des échantillons, provenant du socle cristallin du massif des Ecrins-Pelvoux : granites, gneiss et migmatites ,(fournis par G.VIVIER et J.BIJU-DUVAL et approximativement tous situés le long d'une coupe orientée sensiblement W-E . Ces mesures nous montrent une même zone de répartition: limite anchizone- épizone supérieure mais dans un domaine de composition plus vaste(biotite à moscovite).

Ces différentes observations permettent d'affirmer que le métamorphisme subi par nos spilites est de type anchizonal à épizonal, donc faible.

En outre, l'influence de ce métamorphisme croit d'W en E à mesure que l'on se rapproche du coeur du massif cristallin; il aurait été logique de constater sur nos gisements ses effets de plus en plus accusés. Nous les avons recherchés, et nous pouvons dire qu'effectivement, depuis les gisements les plus occidentaux jusqu'aux plus orientaux, nous observons le caractère de plus en plus accusé du faciès schistes verts. C'est ainsi que les gisements du Beaumont, situés à l'W, sont les seuls à posséder encore un "aspect frais" et à montrer des cristaux d'augite non (ou peu) altérés). Il est donc indéniable que l'état de cristallinité des micas de notre ensemble spilitique a été influencé par la proximité du socle cristallin.

Par ailleurs nous avons recherché systématiquement, optiquement, et surtout aux rayons X les minéraux caractéristiques du faciès zéolites : prehnite, pumpellyite et laumontite dans d'autres secteurs du massif des Ecrins-Pelvoux (BARTOLI 1973) . Cette recherche s'est avérée infructueuse , ce faciès n'a apparemment pas été réalisé dans le secteur étudié.

h- les autres minéraux.

Ce sont essentiellement les minéraux carbonatés, le quartz et les oxydes et hydroxydes de fer .

+ les minéraux carbonatés.

Dolomite et calcite, généralement microcristallines, non distinguables entre elles, sauf dans les dolomies pures où la dolomite se présente en petits rhomboèdres bien nets; les veines ou petits filonnets sécants sont toujours constitués de calcite.

+ le quartz est microcristallin ou en cristaux arrondis isolés dans une matrice dolomito-calcarifère ou argilitique.

+ les oxydes ou hydroxydes de fer sont essentiellement représentés par l'hématite (souvent en innombrables petits grains submicroscopiques) et des limonites (goethite).

+ on rencontre accessoirement des sulfures (pyrites).

1.2.2.2. Milieu d'épanchement des laves spilitiques .

Les coulées spilitiques du massif des Ecrins-Pelvoux où les formations volcano-sédimentaires de base, surmontent presque toujours

des bancs de dolomie grise, calcaires dolomitiques, brèches de remaniement ou encore des argilites (Col de Près-Clos) du Trias supérieur. Les coulées sont surmontées par les petits bancs de calcaire brunâtre, ou des calcaires noirs spathiques à pectens du Rhétien(?).

Il peut arriver cependant que l'on retrouve au-dessus des spilites des niveaux dolomitiques ou des niveaux à tendance lagunaire (Combes de Champ - Côte Dure - Oris en Rattier) que l'on attribue généralement au Rhétien (SARROT-REYNAULD 1963).

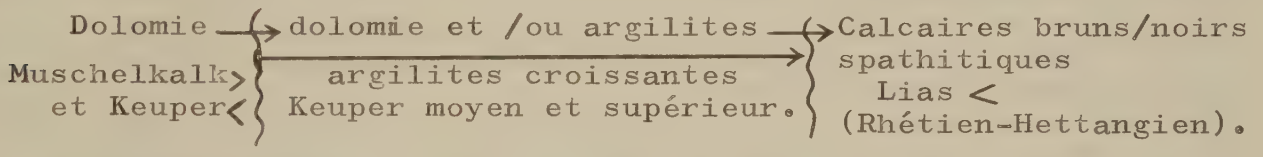
En fonction de la nature dolomitique ou argilitique des produits intercalaires les gisements spilitiques étudiés peuvent se répartir en 3 groupes :

- <u>les gisements dolomitiques.</u>
  Col de Lauplat , Col de Clapouse , Combes de Champ sur Drac , Côte dure .

- <u>les gisements argilitiques.</u>
  Oris en Rattier, Vallon-Long, Col de Près-Clos , Col d'Hurtières, Beaufin.

- <u>les gisements dolomito-argilitiques.</u>
  Vallon des Chevrettes , aiguille de Morges , la Rouite .

- La prédominance des gisements argilitiques paraît indiscutable. Nous avons essayé d'esquisser une succession sédimentaire possible.



Les très brusques variations de faciès que l'on observe parfois sur moins d'un kilomètre (exemple des gisements du synclinal de l'aiguille de Morges) , ne peuvent s'expliquer que par l'existence d'un haut fond vraisemblablement fini-Permien, puisque l'on voit le Trias reposer indifféremment sur le socle, le Houiller, ou le Permien.

Ce haut fond ne sera submergé qu'assez tardivement au Muschelkalk , époque à laquelle on attribue le dépôt des dolomies et calcaires dolomitiques . Ceux-ci sont généralement peu épais et présentent souvent des intercalations d'évaporites. La transgression est maximale avec les calcaires dolomitiques supérieurs (Keuper moyen). On assiste ensuite à une régression s'accompagnant de dépôts plus ou moins détritiques, d'évaporites, et d'argilites. C'est à ce moment que se mettent en place les spilites à la faveur de la tectonique fissurale du Keuper. On note ensuite, par endroits, une submersion plus intense avec des dépôts de calcaires dolomitiques (Combes de Champs - Oris en Rattier - Côte Dure)avant l'émersion presque généralisée de la fin du Keuper.

Les spilites vont être ensuite recouvertes par les calcaires brunâtres,ou les calcaires noirs spathiques à Pectens du Rhétien et Hettangien (?)(BUFFIERE, TANE et SARROT-REYNAULD 1963)

- En conclusion nous pouvons dire que les coulées spilitiques du massif des Ecrins-Pelvoux se sont épanchées en milieu lagunaire ou marin à faible tranche d'eau. Certains gisements tels que celui de la Rouite montrant bien,par la succession des dépôts lagunaires (argilites) aux dépôts marins de la base (dolomies), le caractère régressif de la mer du Keuper supérieur.

Enfin nous pouvons penser que certains gisements(particulièrement ceux montrant l'absence d'horizons intercalaires),ou tout au moins pour certains(Vallon Long), leurs coulées supérieures,se soient peut-être mis en place en milieu aérien .

2. - ETUDE DES FILONS BASIQUES.

2.1.- INTRODUCTION

Dans le but de détailler les relations existant entre les filons basiques et les laves spilitiques (TERMIER 1893-TANE 1962-1963-1967),nous avons été amenés à étudier plus spécialement le secteur filonien de Crupillouse-Sirac-Vallon de la Selle, proche des épanchements de l'aiguille de Morges et de la Rouite. Nous y avons ajouté quelques autres échantillons filoniens provenant du glacier Noir et du Valbonnais(Ech.J.L.TANE et N.VATIN-PERIGNON) ainsi que du S du massif des Ecrins-Pelvoux.(Ech.P.Le FORT).

Les différents secteurs géographiques échantillonnés sont regroupés dans le tableau ci-dessous (Tableau 6).

Tableau 6	SECTEURS	Abréviations
SECTEUR: CRUPILLOUSE - SIRAC - SELLE	VALLON DE LA SELLE (Vallouise)	
	- Crête pointe du Queyre (3264m)- pointe de Verdonne(3327m)- pointe des Bouchiers(3101m)	V.S.
	- Triéou de la Bouchéyère	
	- Saut des trois Pierres	V.S.3p.
	- Echantillons J.L.TANE	V.S(Tane)
	VALLON DE LA PIERRE	
	- Haut Vallon	V.P.
	- Les Goudemards	
	- Cabane de Rougnoux	V.P.cr
	- Col du cheval de bois	V.P.cb
	- base du Puy de la Chaumette	V.P.ch
	- base de la Rouite	V.P.r
	SIRAC	
	- parois,arêtes,crête sommitale(Ech.J.BIJU-DUVAL)	S.
	- base du glacier de Vallompierre	S.v.
	- base de la paroi de Gouiran	S.g
	CRUPILLOUSE	
	- Crupillouse	C.
	- aiguille fourchée	C.af.
	- " " (Echantillons J.L.TANE)	C.af(Tane)
	- lacs de Clapouse	C.lc

SECTEURS	Abréviations
GLACIER NOIR (échantillons J.L.TANE)	G.N.
VALBONNAIS (échantillons J.L.TANE et N.VATIN-PERIGNON	V.
échantillons P.Le FORT.	P.L.

Le tableau 7 donne , pour chaque échantillon récolté, le N° d'échantillon, le secteur de provenance (abréviations ci-dessus); les coordonnées exactes du point échantillonné(coord.Lambert III) et la nature pétrographique déterminée après l'étude en lame mince. Les différents symboles utilisés en astérisque, après le N° d'échantillon (• ▲ ■) ont été définis dans le préambule (III 2). Les échantillons (lames minces et analyses chimiques) fournis par P. Le FORTsont soulignés d'un trait.

Les analyses chimiques complètes (éléments majeurs et traces) ainsi que les dosages K.Ca.Rb.Sr sont en annexe.

Dans le tableau 7 les crochets([) regroupent les différents échantillons provenant d'un même filon , les accolades ({) englobent les échantillons provenant d'une même coupe transversale.

L'étude minéralogique et radiocristallographique des différents échantillons filoniens récoltés nous a permis de mettre en évidence la grande homogénéité du secteur filonien basique Crupillouse , Sirac-Selle, qui n'apparaissait pas antérieurement(VATIN-PERIGNON et Coll.1972). Nous ne voyons dans ce secteur qu'un vaste ensemble dolérito-spilitique, dont l'homogénéité sera par ailleurs vérifiée par l'étude géochimique. Les différences entre les divers filons sont principalement d'ordre structural mais interviennent également sur la répartition des différents minéraux ferro-magnésiens. Nous avons essayé de synthétiser nos observations (tableau 8) en essayant de regrouper les différents types observés en fonction de leur structure et de leur minéralogie.

Un groupe nettement différent pétrographiquement de ce vaste ensemble a pu être mis en évidence et sera traité à part: il s'agit des kersantites et minettes du Valbonnais et du Vieux Chaillol qui sont les seuls vrais lamprophyres rencontrés dans le massif des Ecrins-Pelvoux.

2.2- L'ensemble dolérito-spilitique.

2.2.1 - Les dolérites s.str.

C'est le groupe le mieux représenté. Il s'agit généralement de filons d'épaisseur métrique,à épontes nettes,découpant gneiss ou migmatites à l'emporte-pièce.

Macroscopiquement la roche est compacte,généralement gris bleuté à gris vert en cassure, souvent d'aspect finement saccharoïde à microgrenue, elle contient parfois de petites pustules circulaires millimétriques de calcite (plus rarement d'épidote), certains échantillons montrent une patine beige sur laquelle on peut distinguer les lattes feldspathiques millimétriques et de petits amas également millimétriques de ferro-magnésiens. Ces filons sont très souvent diaclasés(diaclases de refroidissement).

N°. Echantillon	Secteur	Coordonnées LAMBERT III			Nature petrographique
		x =	y =	z =	
SO 61	V.S.	917,97	283,47	2565	Dolerite à chlorite
SO 62	V.S.	"	"	"	Dolerite à chlorite
SO 63	V.S.	"	"	"	Dolerite à chlorite
SO 64	V.S.	"	"	"	Gneiss à muscovite (éponte)
SO 65	V.S.	"	"	"	Dolerite S. str. à amphibole
SO 66	V.S.	"	"	"	Dolerite S. str. à amphibole
SO 67 ▲	V.S.	"	"	"	Dolerite S. str. à pyr. et amph.
SO 68 ▲	V.S.	"	"	"	Spilite intersertale altérée
SO 69	V.S.	"	"	"	Dolerite S. str. à amphibole
SO 610 ▲	V.S.	"	"	"	Dolerite S. str. à amphibole
SO 611 ▲	V.S.	"	"	"	Spilite intersertale altérée
SO 612 ▲	V.S.	"	"	"	Dolerite microcristalline à amph.
SO 613 ▲	V.S.	"	"	"	Dolerite microcristalline à amph.
SO 614 ▲	V.S.	"	"	"	Dolerite microcristalline à amph.
SO 615	V.S.	917,76	283,68	2650	Dolerite à chlorite
SO 616	V.S.	"	"	"	Dolerite S. str. à pyr. et amph.
SO 617	V.S.	"	"	"	Dolerite à chlorite
SO 618 ▲	V.S.	"	"	"	Dolerite à chlorite
SO 619	V.S.	"	"	"	Dolerite à chlorite
SO 620	V.S.	"	"	"	Dolerite S. str. à pyr. et amph.
SO 621 ▲	V.S.	"	"	"	Dolerite à chlorite
SO 622 ▲	V.S.	"	"	"	Dolerite S. str. à pyr. et amph.
SO 623 ▲	V.S.	"	"	"	Dolerite S. str. à pyr. et amph.
SO 624 ▲	V.S.	917,75	283,77	2660	Spilite intersertale altérée
SO 625	V.S.	917,23	283,70	2820	Dolerite S. str. à amphibole
SO 626 ▲	V.S.				Dolerite S. str. à pyr. et amph.
SO 627 ▲	V.S.	917,15	283,67	2910	Dolerite microcristalline à amph.
SO 628 a ▲■	V.S.	917,06	283,65	2945	Dolerite porphinique à pyr. et amph.
SO 628 b ▲■	V.S.	"	"	"	Spilite intersertale
SO 628 c ▲■	V.S.	"	"	"	Dolerite S. str. à pyr. et amph.
SO 629 ■	V.S.	917,23	283,70	2865	Filon de quartz à hématite
SO 630	V.S.	"	"	"	Dolerite à Chlorite
SO 631 ▲■	V.S.	"	"	"	Dolerite S. str. à pyr. et amph.
SO 632 ▲■	V.S.	"	"	"	Dolerite ophitique à Chlorite
SO 633 ▲■	V.S.	"	"	"	Dolerite S. str. à pyroxènes
SO 634 ▲	V.S.	"	"	"	Dolerite S. str. à pyr. et amph.
SO 635	V.S.	"	"	"	Dolerite S. str. à pyr. et amph.
SO 636 ▲■	V.S.	"	"	"	Dolerite S. str. à pyr. et amph.
SO 637	V.S.	"	"	"	Dolerite S. str. à pyr et amph.
SO 638 ▲	V.S.	"	"	"	Dolerite S. str. à pyr et amph.
SO 639 ▲	V.S.	"	"	"	Dolerite ophitique à amphibole
SO 640 ▲■	V.S.	"	"	"	Dolerite ophitique à pyr. et amph.
SO 641 ▲■	V.S.	917,06	283,58	2945	Dolerite porphynique
SO 642 b ▲■	V.S.	916,96	283,66	3000	Dolerite microcristalline à amph.
SO 642 c ▲■	V.S.	"	"	"	Spilite intersertale
SO 643	V.S.	"	"	"	filon micrographitique
SO 644	V.S.	"	"	"	Dolerite S. str. à pyroxènes
SO 645 a ▲	V.S.	917,84	283,97	2650	Dolerite ophitique à pyr. et amph.
SO 645 b ▲●	V.S.	"	"	"	Dolerite ophitique à pyr. et amph.
SO 645 c ▲●	V.S.	"	"	"	Dolerite ophitique à pyr. et amph.
SO 645 d ▲	V.S.	"	"	"	Dolerite ophitique à pyr et amph.
SO 645 e ▲■●	V.S.	"	"	"	Dolerite ophitique à amph. et pyr.
SO 645 f ▲■●	V.S.	"	"	"	Dolerite ophitique à pyr. et amph.

SO 645 g	V.S.	"	"	"	Dolerite ophitique à pyr. et amph.
SO 646	V.S.	917,86	283,86	2640	Dolerite à chlorite
SO 51 a ▲■	V.S.	916,91	283,66	3000	Dolerite S. str. à pyr. et amph.
SO 51 b ▲■	V.S.	"	"	"	Dolerite S. str. à pyr. et amph.
SO 51 c	V.S.	"	"	"	Dolerite S. str. à pyr. et amph.
SO 52 a ▲■	V.S.	"	"	"	Dolerite S. str. à pyr. et amph.
SO 52 b	V.S.	"	"	"	Dolerite S. str. à pyr. et amph.
SO 52 c ▲	V.S.	"	"	"	Dolerite S. str. à pyr. et amph.
SM 69 a ▲■	V.S.	917,80	285,14	2640	Dolerite à chlorite
SM 69 b ▲■	V.S.	"	"	"	Dolerite à chlorite
SM 610 a ▲■	V.S.	"	"	"	Dolerite à chlorite
SM 610 b	V.S.	"	"	"	Dolerite à chlorite
SM 611 a ▲	V.S.	"	"	"	Dolerite à chlorite
SM 611 b	V.S.	"	"	"	Dolerite à chlorite
SM 612	V.S.	"	"	"	Granite leucocrate
SM 613	V.S.	917,59	285,04	2750	Dolerite S str. à pyr. et amph.
SN 61 a ▲	V.S.	917,04	284,91	2575	Dolerite microcristalline à amph.
SN 61 b ▲	V.S.	"	"	"	Dolerite microcristalline à amph.
SN 62 a ▲■●	V.S.	917,96	284,88	2515	Dolerite S. str. à pyr. et amph.
SN 62 b ▲	V.S.	"	"	"	Dolerite S. str. à pyr. et amph.
SN 63 ▲■	V.S.	"	"	"	Dolerite S. str. à pyr. et amph.
SN 64 ▲■	V.S.	"	"	"	Dolerite S. str. à pyr. et amph.
SN 65 a	V.S.	917,68	284,74	2660	Dolerite à chlorite
SN 65 b	V.S.	"	"	"	Dolerite à Chlorite
SN 66	V.S.	"	"	"	Dolerite S. Str. à pyr. et amph.
SN 67 a ▲	V.S.	917,64	284,20	2705	Spilite
SN 67 b ▲	V.S.	"	"	"	Spilite
SN 68 ▲■●	V.S.	917,66	284,28	2680	Dolerite porphyrique
SN 71 ▲	V.S.	918,23	284,47	2310	Dolerite S. Str. à pyroxènes
SM 61	V.S. 3p	917,61	285,92	2340	Dolerite porphyrique
SM 62	V.S. 3p	"	"	"	spilite
SM 63	V.S. 3p	917,70	285,84	2270	spilite
SM 64 ▲■	V.S. 3p	917,68	285,84	2275	spilite
SM 65 ▲	V.S. 3p	917,64	285,57	2290	Dolerite porphyrique
SM 66	V.S. 3p	917,71	285,57	2260	Dolerite S. Str. à amphibole
SM 67	V.S. 3p	"	"	"	Dolerite S. Str. à amphibole
SM 68	V.S. 3p	917,83	285,49	2250	Dolerite S. Str. à amphibole
1 ▲●	V.S. Tane	917,83	283,84	2650	Dolerite microcristalline à amph.
2 ▲●	V.S. Tane	"	"	"	Dolerite microcristalline à pyr. et amph.
3 ▲●	V.S. Tane	"	"	"	Dolerite microcristalline à amph.
A	V.S. Tane	917,86	283,82	2650	eponte Gneiss / Spilite
B ▲●	V.S. Tane	"	"	"	Dolerite microcristalline à amph.
C ▲●	V.S. Tane	"	"	"	Dolerite S. Str. à amphibole
D ▲●	V.S. Tane	"	"	"	Dolerite S. Str. à amphibole
E ▲●	V.S. Tane	"	"	"	Dolerite S. Str. à amphibole
F ▲●	V.S. Tane	"	"	"	Dolerite microcristalline à amph.
G ▲●	V.S. Tane	917,88	283,80	2650	Dolerite porphyrique
G' ▲●	V.S. Tane	"	"	"	Dolerite porphyrique
H ▲●	V.S. Tane	"	"	"	Dolerite porphyrique
H' ▲●	V.S. Tane	"	"	"	Dolerite porphyrique
I ▲●	V.S. Tane	"	"	"	Dolerite porphyrique
I' ▲●	V.S. Tane	"	"	"	Dolerite porphyrique
J ▲●	V.S. Tane	"	"	"	Dolerite porphyrique
J' ▲●	V.S. Tane	"	"	"	Dolerite porphyrique
K ▲●	V.S. Tane	"	"	"	Dolerite porphyrique

K'▲●	V.S.Tane	917,88	283,80	2650	Dolerite porphyrique
L●	V.S. Tane	"	"	"	Dolerite ophitique à amphibole
M●	V.S. Tane	"	"	"	spilite
SN 51	V.P.	916,34	284,00	2585	Dolerite S. Str. à pyr. et amph.
SN 52	V.P.	"	"	"	Dolerite S. Str. à pyr. et amph.
SN 53▲	V.P.	"	"	"	Dolerite S. Str. à amphibole
SO 41a▲	V.P.	915,28	283,52	2430	Dolerite ophitique à amphibole
SO 41b	V.P.	"	"	"	Dolerite ophitique à amphibole
SO 42	V.P.	"	"	"	spilite
SO 53▲	V.P.	916,16	283,98	2592	Dolerite ophitique à pyr. et amph.
SO 61	V.S.	917,06	283,58	2945	Dolerite S. Str. à amphibole
SP 51	V.P.	916,76	282,09	2380	Dolerite ophitique à amphibole
SP 52	V.P.	916,64	282,02	2220	spilite
SQ 54	V.P.	916,58	281,96	2170	Dolerite ophitique à amphibole
CR 1▲■	V.	886,28	294,82	1280	Minette - Kersantite
CR 2▲●	V.	"	"	"	" "
CR 3▲●	V.	"	"	"	" "
Fep 1●	V.	885,18	296,41	1070	" "
Fep 2●	V.	"	"	"	" "
GRA▲●	V.	887,31	294,42	1350	" "
V1-7●	V.	"	"	"	" "
V1-9▲●	V.	"	"	"	" "
41▲●	V.	890,38	293,50	1030	Spilite
43▲■	V	885,35	296,61	830	Minette - Kersantite
44▲●	V.	885,48	296,42	930	" "
451▲●	V.	885,18	296,12	1070	" "
452▲●	V.	"	"	"	" "
453▲●	V.	885,18	296,12	1070	" "
SQ 51a▲	V.P. cr.	916,97	281,41	2085	Dolerite S. str. à amphibole
SQ 51b▲	V.P. cr.	"	"	"	Dolerite microcristalline à amph.
SQ 51c▲	V.P. cr.	"	"	"	spilite
SQ 51d	V.P. cr.	"	"	"	Dolerite à Chlorite
SQ 52a	V.P. cr.	916,96	280,30	2125	Dolerite à chlorite
SQ 52b	V.P. cr.	"	"	"	Dolerite à chlorite
SQ 52c	V.P. cr.	"	"	"	Dolerite à chlorite
SQ 52d	V.P. cr.	"	"	"	Dolerite à chlorite
SQ 52e	V.P. cr.	"	"	"	Dolerite à chlorite
SQ 52f▲■	V.P. cr.	"	"	"	Dolerite à chlorite
SQ 52g	V.P. cr.	"	"	"	Dolerite à chlorite
SQ 53a	V.P. cr.	916,82	281,20	2050	Dolerite ophitique à chlorite
SQ 53b▲	V.P. cr.	"	"	"	Dolerite S. Str. à amphibole
SQ 53c	V.P. cr.	"	"	"	Dolerite ophitique à amphibole
SS 51▲	V.P. cb.	916,15	279,96	2460	Dolerite S. Str. à amphibole
SS 52	V.P. cb.	"	"	"	Granite leucocrate
SS 53▲	V.P. cb.	916,17	279,94	2470	Dolerite S. Str. à amphibole
SS 54	V.P. cb.	916,22	279,98	2440	Enclave amphibolique dans SS 53
SQ 41a	V.P. ch.	915,34	281,64	1965	spilite
SQ 41b	V.P. ch.	"	"	"	spilite
SQ 41c	V.P. ch.	"	"	"	spilite
SR 41	V.P. r.	915,65	281,95	1920	spilite
SR 42	V.P. r.	"	"	"	Spilite
SR 43▲	V.P. r.	915,35	280,69	1900	Spilite
SR 44▲	V.P. r.	"	"	"	Spilite
SR 45 I▲	V.P. r.	"	"	"	Spilite
SR 45 II	V.P. r.	"	"	"	Spilite

SL 4A	S	(915,84)	(285,94)	éboulis	Dolerite ophitique à amphibole
SL 4B	S	"	"	"	Dolerite ophitique à amphibole
SL 413	S	915,50	284,51	3250	Dolerite S. Str. à pyr. et amph.
SL 414	S	915,16	286,18	3250	Dolerite à chlorite
SL 527	S	916,23	286,22	2650	Dolerite S. Str. à amphibole
SM 37●▲■	S	914,97	285,31	2580	Dolerite ophitique à amphibole
SM 38	S	"	"	"	Dolerite ophitique à amphibole
SM 47●▲■	S	915,54	285,56	2810	Spilite
SM 48	S	915,52	285,56	2805	Spilite
SM 49	S	915,82	285,94	2610	Dolerite ophitique à pyroxènes
SM 311	S	914,82	285,10	2590	Dolerite S. Str. à amphibole
SM 312	S	914,72	285,73	2900	Dolerite S. Str. à pyr. et amph.
SM 314	S	914,89	285,41	2385	Dolerite S. Str. à amphibole
SM 315	S	914,92	285,51	2370	Dolerite S. Str. à amphibole
SM 319	S	914,22	285,42	2300	Dolerite ophitique à amphibole
SM 320●▲	S	914,08	285,24	2395	Dolerite S. Str. à pyroxènes
SM 330	S	914,64	285,66	2180	Dolerite S. Str. à pyr et amph.
SM 416●▲	S	915,21	285,89	2525	Dolerite microcristalline à amph.
SM 418	S	915,02	285,82	2360	Dolerite S. Str. à amphibole
SM 419	S	915,02	285,84	2370	Dolerite S. Str. à pyr. et amph.
SM 431	S	915,03	285,83	2380	Dolerite S. Str. à pyr et amph.
SM 432	S	"	"	"	Dolerite S. Str. à pyroxènes
SN 23	S	913,30	284,29	2600	Dolerite S. Str. à amphibole
SN 28	S	913,89	284,84	2720	Dolerite S. Str. à amphibole
SN 37	S	914,06	284,20	3425	Spilite
SN 39	S	914,57	284,18	3390	Dolerite S. Str. à amphibole
SN 44●▲	S	915,20	284,86	2875	Dolerite S. Str. à pyroxènes
SN 215	S	913,99	284,01	3245	Dolerite S. Str. à pyr. et amph.
SN 216	S	"	"	"	Dolerite S. Str. à pyr. et amph.
SN 310	S	914,56	284,16	3390	Dolerite à chlorite
SN 311	S	914,04	284,08	3365	Dolerite à chlorite
SN 312	S	914,03	284,06	3335	Dolerite à chlorite
SN 319	S	914,38	284,44	3150	Dolerite S. Str. à amphibole
SN 325●▲	S	914,72	284,45	3120	Dolerite S. Str. à pyroxènes
SN 326	S	914,62	284,43	3145	Dolerite S. Str. à amphibole
SN 329●▲■	S	914,76	284,27	3245	Socle (cf : thèse J. Biju Duval)
SN 336	S	914,68	284,21	3380	Dolerite S. Str. à amphibole
SN 411	S	915,40	284,50	3217	Dolerite microcristalline à amph.
SN 417	S	915,64	284,74	3120	Dolerite microcristalline à amph.
SO 21●▲	S	913,36	283,71	2910	Dolerite ophitique à amphibole
SO 27	S	913,41	283,54	3025	Dolerite S. Str. à amphibole
SO 28●▲	S	913,51	283,56	3030	Dolerite microcristalline à amph.
SO 32	S	914,06	283,88	3770	Dolerite à chlorite
SO 33●▲	S	914,06	283,82	3345	Dolerite microcristalline à amph.
SO 212	S	913,84	283,73	3225	Dolerite microcristalline à amph.
SO 213	S	"	"	"	Dolerite ophitique à amphibole
PM 93	S	913,18	284,70	2400	Dolerite S. Str. à pyroxènes
PM 94	Sv	913,18	284,66	2415	Dolerite ophitique à amphibole
PM 96 a	Sv	913,15	284,01	2710	Spilite
PM 96 c	Sv	"	"	"	Gneiss Leucocrate (cf thèse Biju Duval)
PM 96 d	Sv	"	"	"	Gneiss Amphibolique " "
PM 96 e■	Sv	"	"	"	Amphibolite " "
PM 96 f	Sv	"	"	"	Spilite
PM 97	Sv	"	"	"	Amas biotitique dans f " "
PM 98▲	Sv	"	"	"	Dolerite S. Str. à pyroxènes

PH 99	Sv	"	"	"	Gneiss à biotite chloritisé (cf Biju-Duval)
SO 22 a ●▲■	Sg	913,47	283,40	2890	Spilite
SO 22 b ●▲	Sg	"	"	"	Spilite
SO 22 c	Sg	"	"	"	Encaissant Gneissique
SO 23 ●▲	Sg	913,50	283,41	2870	Spilite
SO 24	Sg	913,59	283,48	2870	Spilite
SO 25	Sg	913,66	283,62	2910	Spilite
SO 26	Sg	913,68	283,63	2915	Spilite
SO 27 a	Sg	913,63	283,57	2900	Éponte Gneissique
SO 27 b ●▲	Sg	"	"	"	Dolerite ophitique à amphibole
SO 27 c	Sg	"	"	"	Dolerite ophitique à amphibole
SO 27 d ●▲■	Sg	"	"	"	Dolerite ophitique à amphibole
SO 27 e	Sg	"	"	"	Dolerite ophitique à amphibole
SO 27 f ●▲	Sg	"	"	"	Dolerite ophitique à chlorite
SO 28	Sg	913,55	283,41	2820	Dolerite S. Str. à pyroxènes
SO 29	Sg	913,57	283,42	2820	Spilite
PN 91	Sg	913,50	283,38	2840	Dolerite S. Str. à amphibole
PN 92 ●▲	Sg	913,48	283,34	2830	Spilite
PN 93	Sg	913,16	283,18	2710	Dolerite S. Str. à amphibole
PN 94 a ●▲	Sg	913,10	283,80	2690	Dolerite S. Str. à amphibole
PN 94 b ●▲	Sg	"	"	"	Dolerite ophitique à amphibole
PN 94 c	Sg	"	"	"	Dolerite ophitique à amphibole
PN 94 d	Sg	"	"	"	Dolerite ophitique à amphibole
PN 94 e ●▲	Sg	"	"	"	Dolerite ophitique à amphibole
PN 94 f ●▲	Sg	"	"	"	Dolerite ophitique à amphibole
PN 94 g ●▲	Sg	"	"	"	Dolerite S. Str. à amphibole
PO 51 a ●▲■	C	909,28	282,35	2700	Spilite
PO 51 b	C	909,86	282,25	2720	Spilite
PO 51 c ●▲■	C	"	"	2715	Spilite
PO 51 d	C	909,26	282,22	2710	Spilite
PO 51 e ●▲	C	"	"	"	Spilite
PO 51 f ●▲	C	"	"	"	Spilite
PO 51 g	C	"	"	2705	Spilite
PO 51 i ●▲	C	909,27	282,20	2700	Spilite
PO 51 j	C	"	"	2695	Spilite
PO 51 k ●▲	C	"	"	2685	Spilite
PO 51 l	C	"	"	"	Spilite
PO 51 m	C	"	"	"	Spilite
PO 51 n	C	"	"	2670	Brèche de ramonage
PO 51 o ●▲	C	"	"	"	Spilite
PO 51 p ●▲	C	"	"	"	Spilite
PO 51 q ●▲■	C	"	"	"	Spilite
PO 52 a ●▲	Caf	909,67	282,55	2700	Spilite
PO 52 b ●▲■	Caf	"	"	"	Spilite
PO 52 c ●▲■	Caf	"	"	"	Nodule de péridotite
PO 52 d ●▲■	Caf	"	"	"	Spilite
PO 52 e ●▲	Caf	"	"	"	Spilite
PO 53	Caf	éboulis	"	≈ 2700	Spilite
PO 54	Caf	éboulis	"	"	Spilite
PO 55 a	Caf	909,31	282,76	2800	Spilite
PO 55 b	Caf	909,30	282,70	2850	Spilite
PO 56	Caf	909,56	282,72	2923	Spilite
PO 57	Caf	"	"	"	Brèche de friction
2 AF ●	Caf TANE	909,48	tc	2880	Spilite
3 AF ●	Caf TANE	909,47	tc	2850	Spilite

4 AF●	Caf TANE	909,42	282,62	2800	Spilite
8 AF●	Caf TANE	909,40	282,60	2780	Spilite
PN61 a▲	Clc	910,18	283,43	2004	Spilite
PN61 b▲	Clc	"	"	"	Spilite
PN61 c▲	Clc	"	"	"	Spilite
PN62	Clc	910,24	283,45	2390	Dolerite S.Str. à amphibole
PN63	Clc	910,28	283,50	2370	Spilite
PN64	Clc	910,06	283,40	2425	Dolerite S.Str. à pyroxènes
PN65	Clc	910,08	283,38	2415	Spilite
PN66	Clc	910,04	283,37	2425	Dolerite S.Str. à pyroxènes
PN67	Clc	910,02	283,38	2428	Dolerite à chlorite
PN68	Clc	encaissant	/	/	Gneiss à Biotite chloritisée
PN69 a	Clc	909,91	283,30	2470	Spilite
PN69 b	Clc	909,94	"	"	Dolerite à chlorite
PN69 c	Clc	909,98	"	"	Dolerite à chlorite
PN69 d	Clc	910,02	283,29	"	Spilite
PN610	Clc	910,06	"	"	Dolerite à chlorite
PN611	Clc	910,12	283,30	2460	Dolerite S. Str. à pyroxènes
1"●▲	GN	918,50	297,29	3010	Dolerite à chlorite
2"●▲■	GN	918,50	297,29	3010	Dolerite à chlorite
3"●▲	GN	"	"	"	Dolerite à chlorite
4"●▲	GN	"	"	"	Dolerite à chlorite
5"▲	GN	"	"	"	Dolerite à chlorite
6"●▲	GN	"	"	"	Dolerite à chlorite
7"●▲	GN	"	"	"	Dolerite à chlorite
AG 14●	PL	898,88	315,07	2315	Dolerite ophitique à amphibole
AX 49●	PL	901,56	299,88	2430	Dolerite S. Str. à amphibole
BC 64●	PL	897,89	284,45	1030	Dolerite microcristalline à amph.
BD 5a●	PL	896,77	283,59	990	Dolerite ophitique à pyr. et amph.
BH 62●	PL	897,20	279,42	1980	Minette - Kersantite
DZ 1a●	PL	905,54	297,48	1690	Dolerite S. Str. à amphibole
GN 331●	PL	914,50	302,84	3110	Spilite
NA 75●	PL	904,30	296,41	2470	Dolerite S. Str. à amphibole
ND 72●	PL	904,50	283,21	2900	Dolerite ophitique à amphibole
NE 71●	PL	904,34	292,20	2300	Dolerite à chlorite
NG 87●	PL	905,18	290,05	2590	Dolerite S. Str. à pyr. et amph.
OH 4a●	PL	(902,)	(279,)	éboulis	Minette - Kersantite
OJ 11●	PL	899,71	278,38	12,45	Dolerite microcristalline à amph.
OK 53●	PL	903,36	277,74	1795	Minette - Kersantite
OL 510●	PL	903,98	276,76	1980	Minette - Kersantite
OL 511●	PL	"	"	"	Spilite
OL 513●	PL	903,05	276,92	1530	Dolerite à chlorite
OL 721●	PL	(905,)	(276,)	éboulis	Dolerite S. Str. à amphibole
OL 722●	PL	"	"	"	Dolerite à chlorite
PN 62●	PL	910,03	283,41	2424	Dolerite microcristalline à amphibole
PQ 6 g●	PL	910,73	280,08	1410	Dolerite porphyrique
PR 7a●	PL	(911,20)	(279,30)	éboulis	Spilite
SE 430●	PL	915,44	293,01	2755	Minette - Kersantite
SI 5c●	PL			gl. du Sellan	Spilite
SN 66●	PL			Von de la Selle	Dolerite ophitique à pyr. et amph.
SN 67●	PL			"	Spilite
SO 52●	PL			Pont de la Pierre	Dolerite ophitique à pyr. et amph.
G 10●	A. Pecher			Aulagnier	Spilite
					Ech. PL : cf. VATIN-PERIGNON et coll.
					T.L.G. GRENOBLE . 1972 t.48 pp.207-227

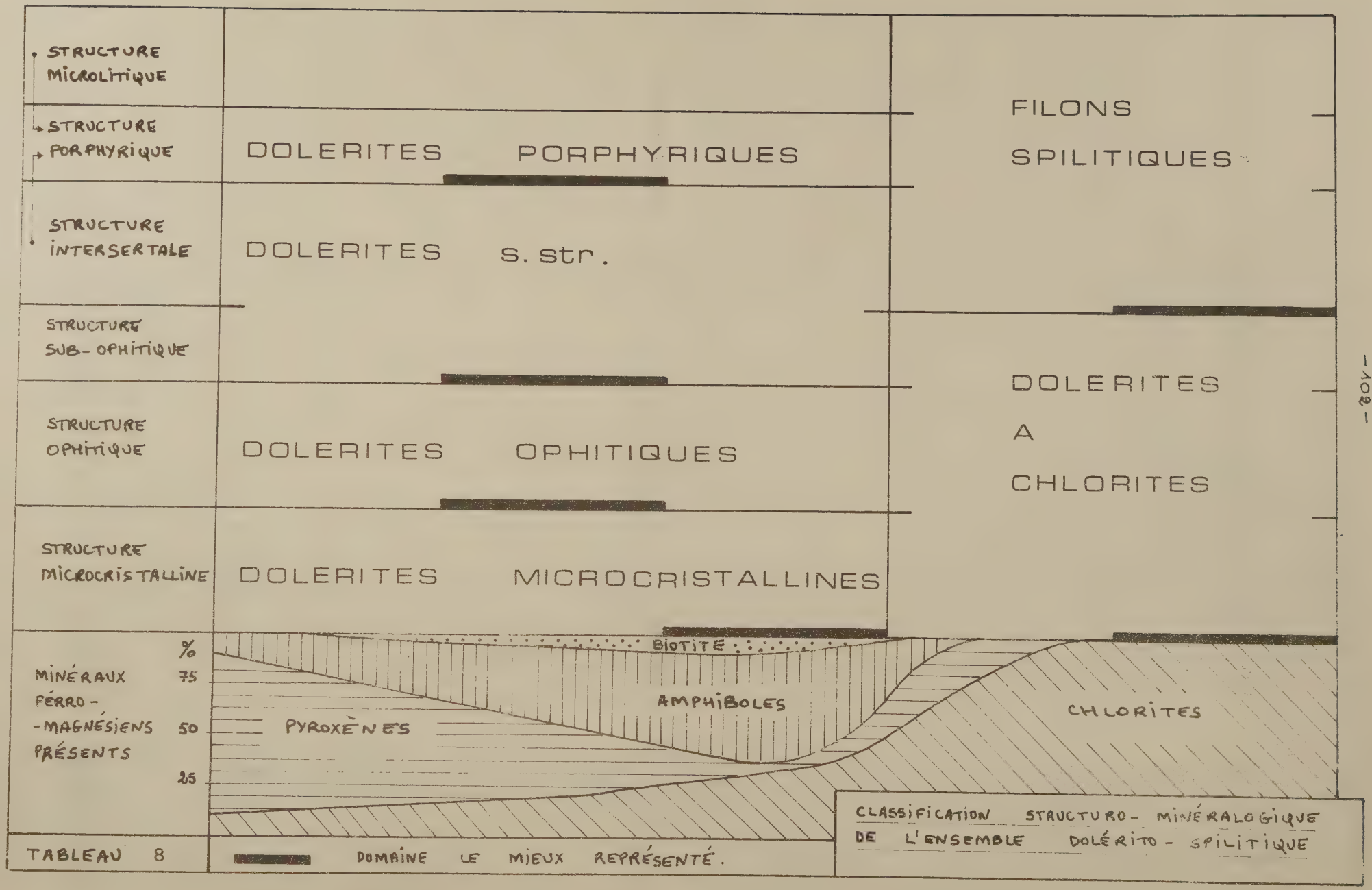

STRUCTURE MICROLITIQUE
STRUCTURE PORPHYRIQUE
STRUCTURE INTERSERTALE
STRUCTURE SUB-OPHITIQUE
STRUCTURE OPHITIQUE
STRUCTURE MICROCRISTALLINE
DOLERITES PORPHYRIQUES
DOLERITES s. str.
DOLERITES OPHITIQUES
DOLERITES MICROCRISTALLINES
FILONS SPILITIQUES
DOLERITES A CHLORITES
MINÉRAUX FÉRRO-MAGNÉSIENS PRÉSENTS
%
75
50
25
BIOTITE
AMPHIBOLES
PYROXÈNES
CHLORITES
DOMAINE LE MIEUX REPRÉSENTÉ.
CLASSIFICATION STRUCTURO-MINÉRALOGIQUE DE L'ENSEMBLE DOLÉRITO-SPILITIQUE

TABLEAU 8

2.2.1.1 - Les dolérites s.str.à pyroxène et amphibole.

Ce sont les mieux représentées, elles sont uniformément réparties dans tous les secteurs, mais sont plus particulièrement abondantes dans le haut vallon de la Selle .

L'échantillon type choisi(SO 51 a) provient d'un filon de 70 cm. d'épaisseur situé, dans le haut vallon de la Selle, sur la crête reliant la pointe des Bouchiers (3101m) à la pointe des Rousses (2959m), juste sous le point coté* en face E .Ce filon horizontal se suit en direction sur environ 300 m.(cf.Pl.I.40). La roche très compacte est d'un gris foncé bleuté d'aspect saccharoïde .

Au microscope la structure est de type intersertal .La trame feldspathique composée de lattes (0,5x0,08mm) de labrador (An60),de lattes plus limpides d'albite-oligoclase de néoformation et de quelques petites plages d'orthose, est presque complètement séricitisée, elle enserre de très nombreux cristaux d'augite (0,3mm) à clivages très fortement marqués et à bordures ouralitisées (hornblende brune et verte) . L'amphibole (hornblende brune) lorsqu'elle ne provient pas de l'ouralitisation des pyroxènes se présente en lamelles plus ou moins trapues (0,4x0,1mm)ou en cristaux sub-automorphes de taille semblable.

La trame plagioclasique enserre également de nombreux ilôts plus ou moins géométriques de séricite -calcite-chlorite-talc et quartz correspondant vraisemblablement, à d'anciens fantômes de ferromagnésiens(peut-être des péridots ?).

Le fond plagioclasique renferme également de nombreux grains de magnétite-hématite et d'ilménite, ainsi que des fibres d'apatite. (cf.pl.I.32 photo 1)

L'analyse aux rayons X donne :

Labrador(An 65).Hb $_{+}$brune.augite.chlorite.talc.micas(séricite) orthose.calcite.quartz.ilménite.magnétite.

Par rapport à ce type on peut noter les variations suivantes; la structure généralement de type intersertal (lattes comprises entre 0,3 et 1m) passe souvent à une structure sub-ophitique avec des lattes quelquefois supérieures à 2 mm. Les plagioclases sont généralement maclés albite, leur teneur en anorthite très variable oscille entre An_5 (6éch.) An_{15}(3éch.) et An_{65} (1 éch.). Cette dernière teneur, très forte, est aussi assez exceptionnelle. Les plagioclases sont très souvent séricitisés, parfois même kaolinisés et envahis par la chlorite.

Certains échantillons montrent quelques phénocristaux de plagioclase (3-4mmx0,5-1mm) entièrement séricitisés. On note assez souvent la présence de petites plages xénomorphes d'orthose. La taille des cristaux d'augites varie de 50-100 microns jusqu'à 0,5mm Ils sont souvent zonés et plus rarement poecilitiques,englobant des lattes de plagioclases. L'ouralitisation est assez développée et progressive . Les augites montrent souvent des clivages très prononcés donnant une structure en " vitrail ".La hornblende brune généralement de la même taille que le pyroxène est souvent en baguettes, montrant parfois des extrémités transformées en hornblende verte ou trémolite. Les cristaux d'amphiboles, souvent automorphes peuvent englober en partie des cristaux également automorphes de pyroxène .

---

* 3086m.

Parmi les minéraux opaques on note une très grande abondance de la pyrite et de l'ilménite toujours plus ou moins associée à des exsudations de leucoxène. Les épidotes(essentiellement pistachite) sont souvent en petits grains interstitiels, on les observe plus rarement dans les vacuoles millimétriques où elles sont en fibres disposées plus ou moins radialement.

Les fibres aciculaires d'apatite sont toujours abondantes.

Dans quelques rares échantillons (en particulier SO 62 b) on observe d'anciens péridots pseudumorohosés par des fibres de trémolite actinote dans un fond chloriteux. Cette association trémolite-actinote-chlorite se retrouve souvent en amas interstitiels plus ou moins vacuolaires . On note quelques grains interstitiels de sphène, quelques vacuoles de calcite en cristaux xénomorphes (1 à 2mm de Ø), du quartz quelquefois en gros cristaux (0,5-1 mm). Enfin on observe souvent des petites lamelles de biotite.

Les quelques chlorites analysées aux rayons X ont une composition de ripidolite:

SO 52a. $Mg_{2,86}Fe_{1,80}Al_{1,34}(Si_{2,66}Al_{1,34})O_{10}(Oh)_8$ R=0,39 Ripidolite.

SO 63I. $Mg_{2,69}Fe_{2,10}Al_{1,21}(Si_{2,79}Al_{1,21})O_{10}(OH)_8$ R= 0,44 Ripidolite.

SO 63b. $Mg_{2,15}Fe_{2,50}Al_{1,35}(Si_{2,65}Al_{1,35})O_{10}(OH)_8$ R=0,54 Ripidolite.

SN 62a. $Mg_{2,49}Fe_{2,30}Al_{1,21}(Si_{2,79}Al_{1,21})O_{10}(OH)_8$ R=0,48 Ripidolite.

L'ordre de cristallisation des divers minéraux est le suivant:
apatite-magnétite-sphène-augite-homblende brune-plagioclases-(augites poecilitiques)
biotite-orthose-hornblende verte-trémolite-actinote-chlorite-quartz calcite-épidote.

2.2.1.2- Les dolérites s.str.à pyroxène .

Elles sont également uniformément réparties,mais beaucoup moins nombreuses que le type précédent.

L'échantillon de référence (SN 71) est gris bleuté, très compact, à texture microgrenue et renferme des vacuoles de calcite. Il provient d'un filon métrique situé sous le Triéou de la Bouchéyère (haut vallon de la Selle) dans le torrent de l'Eychaillas à la cote 2310m.sous la cascade. Il est orienté N15° et penté 25° vers le N-NW. L'encaissant est un gneiss à tendance amphibolique .

Cet échantillon montre en lame mince une structure sub-ophitique faite de grandes lattes (2x0,2mm) d'andésine (An 45-50) maclée polysynthétiquement et presque totalement séricitisée, fissurée transversalement (cf.Pl.I.32 photo 2).

Les interstices sont occupés par une augite assez pâle à structure en "vitrail", fréquemment ouralitisée en trémolite-actinote et chlorite.

La mésostase chloriteuse s'insinue dans les fissures des plagioclases et les clivages des augites. Elle peut former de grandes plages interstitielles où elle est associée à des grains, baguettes et cubes de magnétite, de petites plages informes de hornblende brune , des baguettes de biotite brun vert (LN), des grains de quartz et des petites plages de calcite.

On observe également de petites vacuoles sphériques (Ø 2mm) de calcite granulaire.

Enfin de très fines aiguilles (100 à 200 microns) d'apatite apparaissent sur le fond feldspathique.

SN 71 (RX) andésine(An_{45}).augite.chlorite.biotite(+séricite). hornblende brune(+trémolite actinote).talc.quartz.calcite.magnétite.

Le talc est vraisemblablement lié à l'altération des pyroxènes.

Par rapport à ce type les autres filons montrent des variations de structure; celle-ci est souvent de type intersertal à lattes de plagioclase maclées (0,2 à 0,5mm), la teneur en An variant de .... An_{10} à An_{45-50} .Quelques échantillons montrent des phénocristaux plagioclasiques (> 3mm: SO 64h)ou orthosiques (4x2mm:PN 66). Dans de nombreux filons la chlorite associée à des fibres de trémolite-actinote , forme des pseudocristaux,à contours soulignés par de l'hématite, qui correspondent vraisemblablement à d'anciens ferro-magnésiens. On peut observer fréquemment de petits grains de pistachite épars dans la trame feldspathique. La seule chlorite analysée donne également une composition de ripidolite.

SO 633 . $Mg_{2,58}Fe_{2,00}Al_{1,42}(Si_{2,58}Al_{1,42})\ O_{10}\ (OH)_8 R=0,44$ Ripidolite.

2.2..1.3 - Les dolérites s.str.à amphibole.

C'est dans le Sirac même que l'on rencontre la plus grande proportion de filons de ce type . L'échantillon de référence (SO 27) provient donc de ce secteur. Il a été recueilli sur l'arête SW du sommet S du Sirac (3370,8m) .C'est un filon de 20 à 30 cm d'épaisseur concordant dans les gneiss. Il est orienté N 150 et penté 65° vers l' E . Macroscopiquement la roche est compacte, noir bleuté , à texture microgrenue et à reflets brillants.

En lame mince on observe une structure intersertale :lattes (0,5x0,06mm) d'oligoclase An 20-25 maclé albite à coeur très souvent séricitisé. Les interstices sont occupés par de la hornblende brune en très beaux cristaux parfaitement automorphes (≤ 0,4 mm) sur lesquels viennent se mouler les feldspaths avoisinants. (Cf.Pl.I.32 photo 3). Cette dolérite recèle également quelques lamelles automorphes de biotite , et de petits pyroxènes interstitiels souvent presque totalement ouralitisés en hornblende brune.

Ici encore on remarque de nombreuses formes ± géométriques envahies de séricite, calcite et chlorite, représentant vraisemblablement des fantômes de ferro-magnésiens, mais dont il est impossible de déduire la nature du cristal original.La mésostase est très riche en nombreux cristaux de magnétite, et en grains de pyrite bordés d'hématite, ainsi qu'en fibres aciculaires d'apatite. On peut enfin remarquer quelques petites épidotes et des grains d'ilménite associés à des exsudations de leucoxène.

Les variations minéralogiques par rapport à ce type sont mineures et ne concernent que les phénomènes de transformation, on peut ainsi avoir une kaolinisation plus ou moins poussée des plagioclases, une altération parfois complète des hornblendes brunes ou biotites en chlorite; sur certains échantillons on peut observer le passage d'une hornblende brune à une hornblende verte, puis en un agrégat fibreux de trémolite-actinote et chlorite . Les clivages sont alors très souvent soulignés par de l'ilménite(leucoxène). On peut voir localement une abondance des vacuoles à calcite quartz et pyrite. Dans certains échantillons, la calcite diffuse envahit toute la roche.

Pl.I.32

LEGENDE

Photo 1 (p.103) SO 51 a- Lumière naturelle.

.Dolérite s.str.à pyroxène et amphibole.
Structure intersertale montrant :
- une trame feldspathique (F),
- des augites à clivages fortement soulignés par l'hématite (A),
- des cristaux de hornblende brune (HB) montrant des bordures de hornblende verte,
- des ilôts d'allure ± géométrique, montrant un assemblage microcristallin de séricite- calcite-chlorite-talc et quartz (I),
- de la magnétite (M) et de la pyrite (Py).

Photo 2 (p.104) SN 71 Lumière naturelle

. Dolérite s.str.à pyroxènes.
Structure sub-ophitique comportant :
- une trame feldspathique (F),
- des augites "en vitrail"(A),
- de la magnétite (M),

Photo 3 (p.105) SO 27 Lumière naturelle

.Dolérite s.str.à amphibole.
Structure intersertale montrant :
- une trame feldspathique (F) ,
- des cristaux de hornblende brune très fréquemment automorphes (HB),
- de la magnétite (M)et de l'ilménite (Il),
- des ilots à séricite, calcite,chlorite.(I)

2.2.2 - Les dolérites porphyriques.

Très peu représentées par rapport aux autres types doléritiques nous n'en connaissons en fait que 4 filons . Le premier,de 1,70m de puissance, a été suivi sur environ 4 kilomètres bien qu'il disparaisse par places sous les éboulis ou les névés et qu'il soit décalé par de nombreuses petites fractures. Il barre le Triéou de la Bouchéyère selon une direction grossièrement N-NE - S-SW entre 2945 m. (sous la crête pointe des Rousses - pointe des Bouchiers) et 2650 m. sur le Triéou de la Bouchéyère. En fait sa direction et son pendage varient un peu du S au N : N 22°-55 W; N 30°-25 W ; N 45° - 18 NW. Ce filon porphyrique à pyroxène et amphibole est très homogène dans toute sa masse.

Le contact avec l'encaissant gneissique est très net; les épontes sont schistosées sur seulement 2 à 3 cm.

A côté de ce très important filon, nous en connaissons deux autres au Saut des Trois Pierres,dans le ravin de Chanteloube,dont l'un (SM 65),bien qu'assez pyroxénique, possède une direction(N 30-50°W) identique et sensiblement de même épaisseur que celui du Triéou de la Bouchéyère, il pourrait n'en être en fait que sa prolongation décalée par de nombreuses petites fractures . L'autre(SM 61) uniquement pyroxénique à phénocristaux feldspathiques est identique au filon (PQ 66 - Le FORT) du Drac de Champoléon sous le Puy de la Femme .

L'échantillon pris comme référence (SO 641) appartient au gros filon porphyrique. Macroscopiquement la roche apparaît très compacte , gris bleuté à gris vert en cassure. Sur ce fond à texture aphanitique ressortent de gros cristaux de pyroxène ($\geqslant$ 5 mm) et des lattes feldspathiques de même longueur. Ces minéraux sont encore plus nettement visibles sur la roche altérée (patine beige verdâtre).

L'observation en lame mince montre (cf.Pl.I 33 photo 1) :

- une structure intersertale très fine en lattes (0,3x0,04 mm) de plagioclases plus ou moins sériciticisées, et de petites plages d'orthose . Cette structure est en partie masquée par l'abondance de petits cristaux de hornblende brune, les aiguilles de biotite ($\approx$ 100 microns) plus ou moins chloritisées, et les petits cristaux de pyroxène en partie ouralitisés. Ce "fond " est également très riche en hématite, ilménite , pyrite et en nombreuses et fines aiguilles d'apatite. On peut noter également quelques plages de pistachite ainsi que quelques grains de quartz et de rares albites de néoformation.
- des porphyroblastes:

•plagioclases: 3-4x0,5 à 1mm , mais souvent supérieurs à 5 mm. complètement sériciticisés et indéterminables optiquement :

•augite :(5x2,5-3mm.au maximum) en cristaux automorphes, très souvent zonés et présentant une structure en sablier. On observe également très fréquemment des cristaux géométriques maclés à clivages orthogonaux. Quelques mesures effectuées à la platine Fédorov nous ont donné les résultats suivants: 2V=+42°,+56°; C $\wedge$ Ng=+40°,+43°. Ces augites sont toujours légèrement colorées en rose violacé en lumière naturelle, coloration particulière de l'augite titanifère; elles sont remarquablement fraiches et rares sont celles qui montrent une bordure en voie d'ouralitisation. On peut observer des agrégats de cristaux d'augite automorphes s'interpénétrant :

- des formes polygonales envahies de chlorite, fibres de trémolite et actinote, correspondent vraisemblablement à d'anciens phénocristaux de ferro-magnésiens, et contiennent fréquemment de gros cubes de pyrite.

L'étude radiocristallographique sur minéraux triés (SO 62 8a - SN 68) a donné les résultats suivants : oligoclase(An 18),orthose (95-100 % Or),augite,muscovite $2M_1$ (très vraisemblablement sous forme de séricite), biotite , hornblende brune, trémolite-actinote, talc (lié aux vacuoles à chlorite et trémolite-actinote, et par ailleurs à la séricite), ilménite, hématite, pyrite, quartz , calcite. Les déterminations de chlorites donnent ici encore du ripidolite .

SO 62 8a : $Mg_{2,51}\ Fe_{2,20}\ Al_{1,29}\ (Si_{2,71}\ Al_{1,19})\ O_{10}\ (OH)_8$ R=0,47 Ripidolite.

SO 64 I : $Mg_{2.}\ Fe_{2,55}\ Al_{1,45}\ (Si_{2,55}\ Al_{1,45})\ O_{10}\ (OH)_8$ R=0,56 Ripidolite.

L'indexation d'un diagramme d'augite pure (SN 68 tableau 9)donne les mêmes caractéristiques (d A° et I/I_1) que celles obtenues pour les augites des laves (cf.1.2.1.2 tableau 3) c'est à dire une augite banale calcique et ferro-magnésienne.

d Å	I/I_1	hkl	d Å	I/I_1	hkl
4,6829	< 5	200	2,1314 kα$_1$	18	$33\bar{1}$
4,4504	< 5	020	2,1072 "	6	$42\bar{1}$
3,3448	< 5	021	2,0350 "	19	$04\bar{1}$
3,2238	100	220	2,0221 "	< 5	$40\bar{2}$
2,9921	66	$22\bar{1}$	2,0057 "	5	$20\bar{2}$
2,9478	46	$31\bar{0}$	1,9707 "	< 5	132
2,8993	16	$31\bar{1}$	1,8572 "	< 5	331
2,5643	20	$13\bar{1}$	1,8307 "	6	222
2,5345 kα$_1$	22	002-$20\bar{2}$	1,7505 "	45	$15\bar{0}$
2,5101 "	20	$11\bar{2}$-$22\bar{1}$	1,6746 "	< 5	$04\bar{2}$-$24\bar{2}$
2,2962 "	14	311	1,6675 "	< 5	$31\bar{3}$
2,2194 "	< 5	$11\bar{2}$	1,6298 "	19	$22\bar{3}$-$53\bar{1}$
2,2006 "	< 5	$02\bar{2}$-$22\bar{2}$	1,6120 "	9	440
2,1490 "	23	330	1,5838 "	< 5	530
			1,5604 "	< 5	600
			1,5453 "	8	$35\bar{0}$
			1,5336 "	< 5	$60\bar{2}$
			1,5213 "	< 5	$40\bar{2}$-$62\bar{1}$
			1,5067 "	5	$13\bar{3}$
			1,4800 "	11	060

TABLEAU 9

Les variations que l'on peut observer par rapport à ce type concernent la répartition et l'abondance des amphiboles et des augites dans le fond intersertal, ainsi que l'abondance et la taille des porphyroblastes d'augite et de feldspaths. Ces derniers sont toujours complètement séricitisés (muscovite), néanmoins une mesure réalisée sur un échantillon moins altéré(H') donne une andésine An_{45} .

Comme nous l'avons vu au début de ce paragraphe les échantillons SM 6I et PQ 66 possèdent un fond feldspathique intersertal à petits cristaux d'augite. Les phénocristaux (4x0,5 mm) sont de taille moindre que dans le gros filon porphyrique et ils sont uniquement plagioclasiques et entièrement séricitisés.

2.2.3 - Les dolérites ophitiques.

Ce sont des gisements particuliers, se présentant le plus souvent en amas importants(parfois plusieurs dizaines de mètres) au contact très franc avec les gneiss encaissants. On peut également les trouver en très gros filons dans le Sirac même, ou en amas se ramifiant en nombreux filons. Nous avons ainsi pu mettre en évidence plusieurs ensembles doléritiques ophitiqués:

- les filons et amas du Sirac.
• base du glacier de Vallompierre,
• paroi rive droite du glacier du Gouiran (amas filoniens PN 94...)
• paroi W du glacier du Gouiran (filons SO 27...)
• les filons des glaciers du Sirac (SM 319-SM 37 -SM38)
• les amas de la rive gauche du glacier de Chabournénu sous la cascade de Séracs (2650m.Ech.SM 49 . SL 4A - SL 4B).
• filon sur l'arête W du sommet S (3225 m.Ech.SO 213).

- Base de l'éperon rive droite du Vallon de la Pierre.(2410 m. Ech.SO 4I a-b) où l'amas doléritique est séparé de l'encaissant par une "zone rouillée" de 0,50 à 1m.

-L'amas du Point 2592 m. dans le haut Vallon de la Pierre sous les Pisses.
- L'amas des Goudemards vers le point coté 2385 m.sensiblement sur l'arête W du Pic de la Cavale (2983 m.)
- Les amas du Triéou de la Bouchéyère.
• l'amas supérieur situé sous le point coté 3036 de la crête pointe des Bouchiers (3101m.) , pointe des Rousses (2959 m.)
• l'amas inférieur situé en contre bas et plus à l'E au niveau de la pyramide signal 2661 m.sera décrit en détail au paragraphe 2.4.6 .

Ces différents amas ont une très grande dispersion et ne montrent pas d'alignement préférentiel.

Les roches se présentent macroscopiquement sous un aspect grenu où les principaux minéraux : Feldspath,pyroxène et amphibole sont visibles à l'oeil nu ;elles sont très compactes, verdâtres et ressemblent assez à l'affleurement à des gabbros, surtout lorsqu' elles forment des amas importants . Les filons , même très épais sont généralement beaucoup plus sombres. (plus grande richesse en ferro-magnésiens).

2.2.3.1 - Les dolérites ophitiques à pyroxène et amphibole

Elles sont assez uniformément réparties dans tout le secteur haut Vallon de la Selle, Sirac, Vallon de la Pierre

L'échantillon type (SO 27 b) provient du gros filon(20m. d'épaisseur) de la paroi W du sommet S du Sirac, au-dessus du glacier du Gouiran . Il est vert très sombre et très homogène sur toute son épaisseur et son étendue . En lame mince (Cf.Pl.I.33 photo 2) on observe une structure ophitique : lattes trapues (2x0,8mm), sériciticisées, de labrador (An55-60) à macles polysynthétiques, et contenant de nombreuses inclusions héxagonales, de fibres aciculaires ou de baguettes d'apatite.(Pl.I.33 photo 3). Quelques feldspaths montrent un coeur kaolinisé pigmenté par l'ilménite ; les interstices entre les lattes sont occupés par :
- l'augite en voie d'ouralitisation: bordures altérées en hornblende brune passant à ses extrémités à une actinote ou à une biotite très pléochroïque.

Les caractéristiques de ces augites sont les mêmes que celles des augites des dolérites porphyriques .
- la hornblende brune ($C \wedge Ng = +17°$, $2V = -80°$) montrant une altération en hornblende verte ($C \wedge Ng = +14°$ $2V = -72°$) et en trémolite-actinote ou prolongée par des biotites déchiquetées .
- quelques petites lamelles de biotite entrêmement pléochroïque : (brun-noir à beige pâle),
- de la calcite en cristaux individualisés comblant les interstices,
- quelques grains de quartz ,
- des fantômes de ferro-magnésiens pseudomorphosés par des lamelles de trémolite-actinote accompagnées d'un feutrage de fibres d'apatite sur un fond chloriteux; des minéraux opaques soulignent les anciens contours, mais ces fantômes sont rares et sans formes bien nettes.
- la chlorite insinuée entre les lattes feldspathiques,
- des cubes et grains de pyrite, hématite,ilménite.

Par rapport à ce type, les principales variations que l'on peut observer sont les suivantes :
- variation de la taille et de la teneur en anorthite des plagioclases (An_5 à An_{40});de très rares plagioclases zonés montrent une acidification du coeur vers la périphérie An 55-35-25. On note également quelques plages d'orthose .
- augite et hornblende brune apparaissent fréquemment en cristaux sub-automorphes et même automorphes; généralement poécilitiques, englobant des lattes de plagioclase séricitisées et des cristaux d'apatite;
- quelques fantômes de péridots automorphes entièrement pseudomorphosés par de l'hématite.
- les minéraux opaques sont souvent réduits à de l'ilménite diffuse (+ leucoxène) et on note parfois quelques cristaux d'épidote (pistachite).

Une analyse aux rayons X, sur minéraux triés (SO 64 5e) a donné: oligoclase (An_{20}) - augite- hornblende brune(+ trémolite actinote)-pistachite-biotite-anorthose-calcite-ilménite-chlorite.

$Mg_{2,48}Fe_{2,20}Al_{1,32}(Si_{2,68}Al_{1,32})\ O_{10}(OH)_8$ R=0,47 Ripidolite.

D'autres analyses nous révèlent en outre : orthose,talc(+pyrophyllite), quartz, pyrite, albite à andésine (An40),et ripidolite:

(SO 64 O): $Mg_{2,27}Fe_{2,25}Al_{1,48}(Si_{2,52}Al_{1,48})\ O_{10}(OH)_8$ R= 0,5

(SO 64 5f): $Mg_{2,32}Fe_{2,20}Al_{1,48}(Si_{2,52}Al_{1,48})O_{10}(OH)_8$ R=0,5

2.2.3.2- Les dolérites ophitiques à amphibole.

Très peu nombreuses, elles présentent la même répartition que les précédentes. L'échantillon de référence(SM 37) provient du glacier du Sirac, en rive gauche de la branche E à l'altitude 2580 m. La roche est vert sombre d'un type finement grenu où scintillent les minéraux amphiboliques.

En lame mince on observe de grandes lattes ($\leqslant$ 2x0,1 à 0,2 mm) ou cristaux automorphes de hornblende brune à clivages bien visibles (cf.Pl.I.34 photo 1) et parfois bordés de hornblende verte.

Pl.I.33

LEGENDE

Photo 1 (p.108) SO 641 Lumière polarisée.

.Dolérite porphyrique :
-phénocristaux d'augite (A) et de plagioclases (Pl),
- "fond" à structure intersertale très fine envahie par les petits cristaux de hornblende brune , de biotite et de pyroxène.

Photo 2 (p.110) SO 27b Lumière naturelle.

. Dolérite ophitique à pyroxène et amphibole.
Structure ophitique.
- lattes trapues de labrador (L),à coeur kaolinisé pigmenté d'ilménite ,
- augites (A) à bordures "ouralitisées" (hornblende brune et hornblende verte ,HB et HV).

Photo 3 (p.110) SO 630 Lumière naturelle.

.Dolérite ophitique à pyroxène et amphibole
- sections diverses d'apatite (Ap),
- plages chloriteuses (Ch) à clivages soulignés par de l'ilménite (Il) (chlorite de pseudomorphose),
- pyrite (Py),
- "fond" plagioclasique (andésine).

A
A
1

IIIb
IIIa
IIv
2
100 µ

Ap
Ap
Ap
Ap
Ap
Tr
3

Ils flottent sur un fond feldspathique grenu à grandes lattes (2,5x0,5mm) enchevêtrées d'oliglase très peu sériciticisé et très rarement maclé et de rares plages d'orthose . Le fond est très riche en prismes, baguettes, fibres et sections hexagonales d'apatite .

On note des amas constitués essentiellement de chlorite + trémolite actinote avec de l'ilménite exsudant du leucoxène. Ces amas représentent les fantômes d'anciens pyroxènes (dont il reste quelques reliques polarisant dans les gris) complètement transformés, ou d'anciennes hornblendes brunes (pseudomorphosées totalement ou presque en trémolite). Il existe également quelques amas de calcite soit microcristalline, soit en grandes plages xénomorphes. Les minéraux opaques sont peu nombreux et uniquement représentés par l'ilménite et l'hématite.

L'analyse aux rayons X nous donne :
oligoclase(An_{10}).hornblende brune.trémolite.chlorite.orthose.ilménite.calcite.

$Mg_{2,55}^{++}Fe_{2,15}^{++}Al_{1,30}(Si_{2,70}Al_{1,30})O_{10}(OH)_8$ R=0,46 Ripidolite.

Par rapport à ce type les seules variations concernent la taille des différents minéraux et l'altération des plagioclases qui sont quelquefois complètement sériciticisés et contiennent des vermicules de chlorite . Les amphiboles sont toujours automorphes et précèdent donc la cristallisation des plagioclases .

2.2.4 - Les dolérites microcristallines.

Elles sont très abondantes et presque uniquement localisées dans le haut vallon de la Selle .

Nous avons dénommé ainsi ces roches, à cause de leur structure isogranulaire extrêmement fine où tous les minéraux présents sont de taille très petite. Ces roches n'ont donc rien à voir avec les lamprophyres (cf.IV et 2.3.) à phénocristaux biotitiques ou amphiboliques flottant dans un fond quartzo-feldspathique microgrenu, .

Les dolérites microcristallines sont, dans le secteur étudié, toujours uniquement amphiboliques (seuls quelques rares échantillons montrent de petits pyroxènes). D'une manière générale ce type de dolérites s'observe dans les filons d'épaisseur réduite (50 cm. au maximum) ou alors en bordure de filons beaucoup plus épais.

Macroscopiquement ce sont des roches massives, gris bleuté à gris verdâtre, d'aspect saccharoïde où brillent les cristaux d'amphibole. On observe parfois de petites vacuoles circulaires de calcite. Nous prendrons comme référence l'échantillon SO 33 provenant d'un filon situé sous le sommet S du Sirac, en face E à 3345 m. ,dans une zone particulièrement riche en filons , (à peu près tous les 5 mètres).

Le filon échantillonné est de direction moyenne NO à N15,penté de 50 à 70° vers l'W et d'une épaisseur de 0,30 m.

En lame mince (cf.Pl.I.34 photo 2) on observe une abondance de fines aiguilles de hornblende brune (400x40microns) presque jointives, masquant le fond feldspathique constitué d'un enchevêtrement de lattes (?) d'oligoclase (An_{20}) et contenant de très fines aiguilles d'apatite. On distingue quelques rares grains de quartz et des baguettes de biotite, de petites plages calcito-chloriteuses, des grains de pyrite bordés d'hématite et du leucoxène lié à de fins granules d'ilménite.

L'analyse aux rayons X donne :
oligoclase (An_{20}).Hb brune.chlorite.quartz.orthose.biotite.calcite.

Par rapport à ce type très fin et très riche en amphibole, les variations portent sur la taille et la proportion des différents minéraux, ainsi que sur leur arrangement structural. Dans certains échantillons, la structure intersertale, voire microlitique est bien développée; les plagioclases sont toujours voisins de l'oligoclase. Les cristaux de hornblende toujours présents en grande quantité, surimposent leur trame serrée au fond feldspathique.

La taille des lamelles est variable (100 microns à 1 mm). Sur l'échantillon SO 627 (cf.Pl.I.34 photo 3) les lamelles amphiboliques s'arrangent circulairement sur le fond feldspathique.

On observe également des zones à contours circulaires dépourvues d'amphibole, montrant des lattes feldspathiques nettes et un coeur de pistachite.

- la chlorite peut apparaître en plages diffuses tâchetées d'oxydes de fer et de titane.
- les lamelles de biotite; d'abondance variable, sont souvent oxydées ou plus ou moins chloriteuses.
- quelques vacuoles sont remplies de fibres de trémolite-actinote sur un fond chloriteux.
- des zones à contours vaguement géométriques sont remplies de calcite-séricite- chlorite(anciens péridots?).
- enfin certains échantillons possèdent des cristaux d'augite à structure en sablier et d'autres plus petits et ouralitisés.

La seule chlorite étudiée a une composition de ripidolite.
SO 642b: $Mg_{2,06}Fe_{2,50}Al_{1,44}(Si_{2,56}Al_{1,44})O_{10}(OH)_8$ R= 0,55 .

2.2.5- Les dolérites à chlorite.

Elles sont très abondantes et apparaissent un peu partout même en des points éloignés du secteur étudié.(Glacier Noir)

Sous ce nom, nous groupons des roches à structure doléritique (intersertale-sub ophitique- ophitique ou"microcristalline") où le seul minéral ferro-magnésien présent est la chlorite. Nous avons séparé ces roches des spilites filoniennes pour diverses raisons:

+ la structure est microlitique à intersertale dans les spilites, et doléritique dans les dolérites à chlorite.
+ la calcite est beaucoup plus abondante dans les spilites que dans les dolérites. Pour ces dernières le Ca entre dans d'autres combinaisons minéralogiques que la calcite.
- les péridots souvent automorphes sont beaucoup plus nombreux et mieux reconnaissables dans les spilites que dans les dolérites à chlorite.

Les roches de ce type se présentent en filons d'épaisseur variable, généralement métrique, ou bien constituent des faciès de bordure de certains filons. Macroscopiquement ce sont des roches vertes, très compactes , à texture aphanitique, petites vacuoles de calcite et nombreux cristaux de pyrite . Certains peuvent montrer une texture grenue (dolérites ophitiques à chlorite) d'aspect gabbroïque mais où les interstices entre les lattes feldspathiques ne sont occupés que par de la chlorite .

L'échantillon choisi comme référence(SQ 52a) représente un faciès banal à chlorite (sans distinction de structure).

Pl.I.34.

LEGENDE

Photo 1 (p.111) - SM 37 - -Lumière naturelle -

Dolérite ophitique à amphibole.

-Structure ophitique,
-cristaux de hornblende brune (HB) sur un fond constitué de grandes lattes d'oligoclase(Ol), quelques ilôts chloriteux (Ch.).

Photo 2 (p.114) -SO 33- -Lumière naturelle-

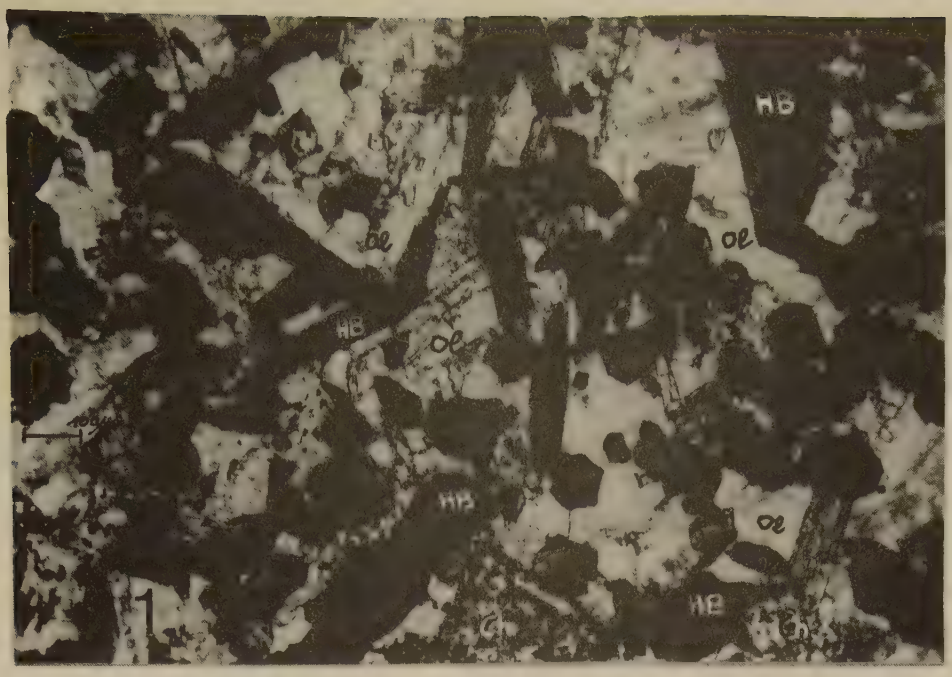
Dolérite microcristalline à amphibole.

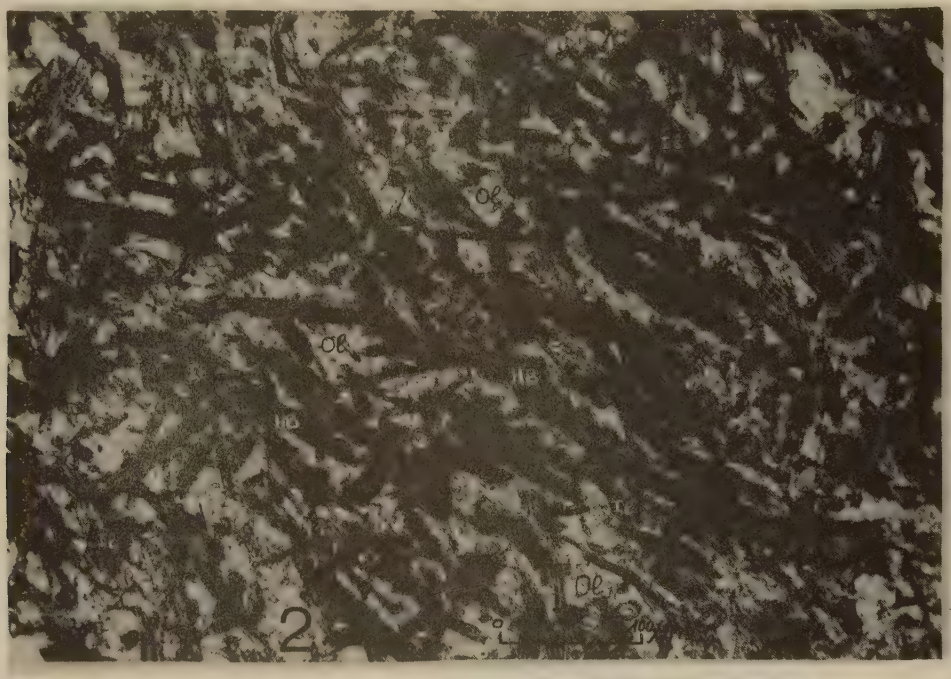
-Fines aiguilles de hornblende brune (HB) sur un fond constitué d'un enchevêtrement de lattes d'oligoclase (Ol); grains d'ilménite (Il).

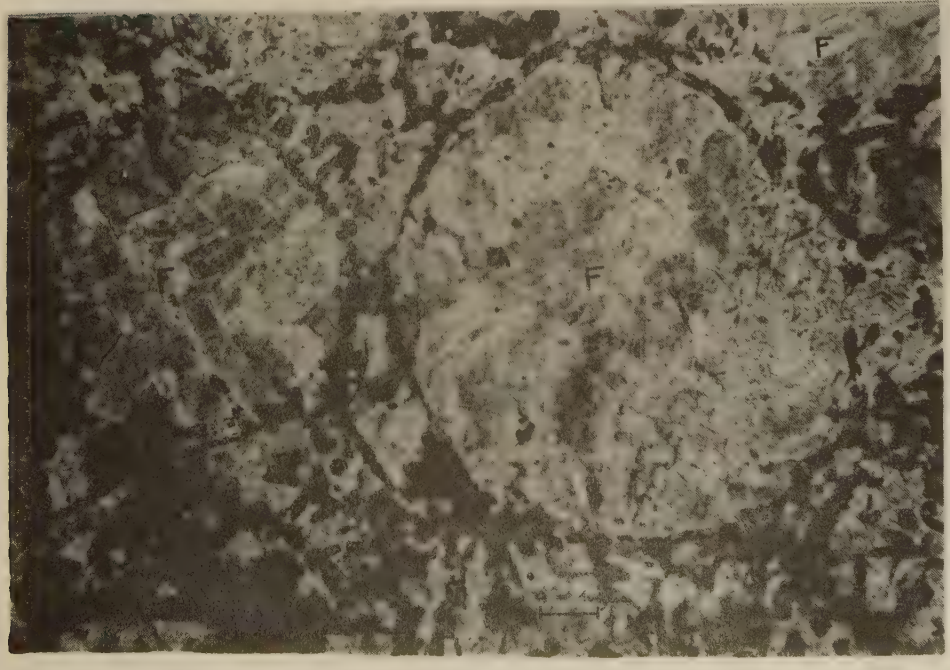
Photo 3 (p.115) - SO 627- - Lumière naturelle -

Dolérite microcristalline à amphibole.

-Disposition circulaire des aiguilles de hornblende brune (HB)sur le fond feldspathique (F), chlorite interstitielle (Ch).


HB
Ol
Ol
HB
Ol
HB
Ol
HB
Ch
1


Ol
Ol
HB
HB
Ol
2


F
F

Pl.I.35

LEGENDE

Photo 1 (p.120) -SQ 52 a - -Lumière naturelle -

Dolérite à chlorite.

Fragments de plagioclases (F) apparaissant au travers d'une mésostase chloriteuse (Ch), envahissante, entrêmement riche en ilménite (Il).

Photo 2 (p.120) - SM 69 b - -Lumière naturelle-

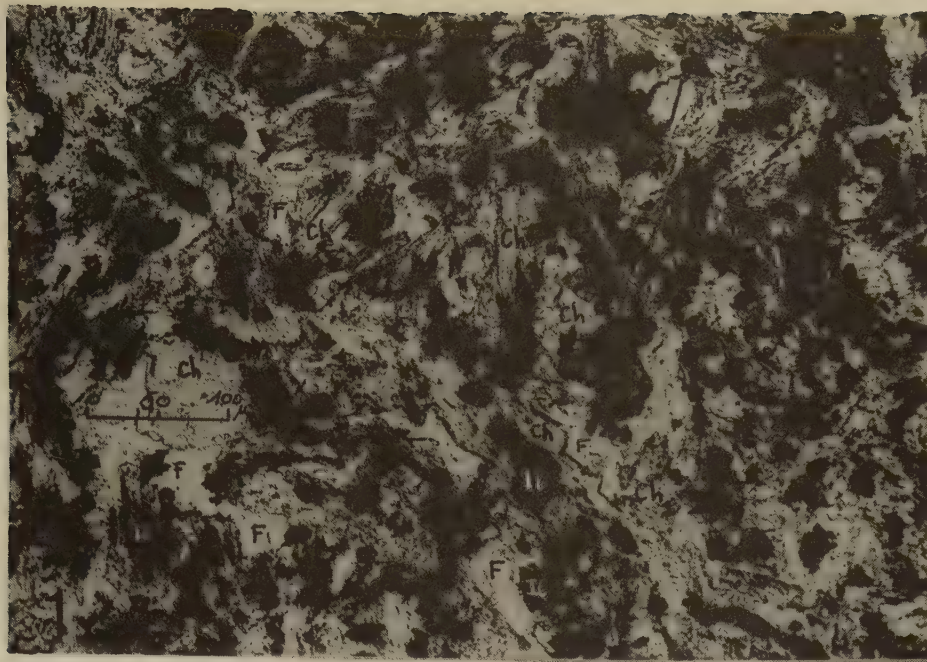
Dolérite à chlorite.

Anciens cristaux de hornblende brune complètement pseudomorphosés par la chlorite (ch) avec de l'ilménite (Il) soulignant les clivages, nombreuses fibres aciculaires d'apatite(Ap), fond feldspathique (F).

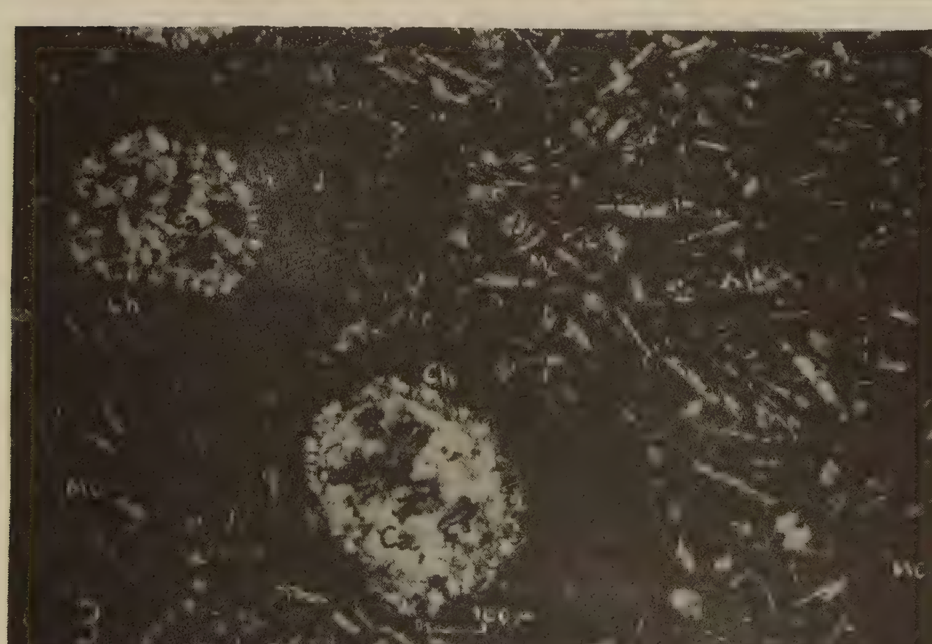
Photo 3 (p.121) - SR 45 II - - Lumière polarisée -

Filon spilitique.

Structure intersertale en lattes effilochées d'albite-oligoclase (Ab)mésostase chloriteuse très riche en petits granules d'Ilménite (MC) , vacuoles de calcite (Ca) à bordures chloriteuses (Ch).


F
Ch
1

F
Ch
2


Ch
Ca
3

Cet échantillon provient du bord supérieur d'un filon de 2 m.d'épaisseur, orienté N50 penté 35° SE, situé au N de la Cabane de Rougnoux dans les rochers de la base de la face S du pic de la Cavale. La roche est verte, aphanitique à mouchetures chloriteuses et très diaclasée.

En lame mince (Cf.Pl.I.35 photo 1) la structure est intersertale: plages et fragments de plagioclase apparaissant au travers d'une mésostase chloriteuse envahissante, parsemée de grains d'ilménite exsudant du leucoxène. On note de nombreuses plages de quartz, de minuscules grains de calcite épars et quelques fines aiguilles d'apatite.

Par rapport à ce type, les autres dolérites à chlorite ont une structure souvent plus franche: lattes trapues de plagioclases (souvent An_5) (1x0,1-0,2mm) entièrement séricitisées, parfois kaolinisées et envahies par la chlorite.

Les nombreux fantômes de ferro-magnésiens (quelquefois automorphes) sont entièrement pseudomorphosés par la chlorite. Les lamelles de biotite en partie ou complètement chloritisées sont nombreuses; quelques petits cristaux d'épidote. Le terme de transformation ultime montre une roche, sans structure apparente, constituée d'agrégats de chlorite-séricite (et calcite)et empâtée par l'ilménite.

Les structures ophitiques ont des lattes (> 5x1mm) d'andésine (An_{40-45}) en partie séricitisées voire kaolinisées et contenant des vermicules de chlorite . Les ferro-magnésiens existent à l'état de fantômes pseudomorphosés par de la chlorite fortement pléochroïque (vert jaune à vert bouteille; α= + 0°) ou d'augite ouralitisée et de hornblende clivée.

Les clivages sont fortement soulignés par de l'ilménite (Pl.I.35 photo 2) exsudant de leucoxène. Il existe en outre de la chlorite interstitielle microcristalline, du quartz en plages xénomorphes parfois associé à la calcite, la chlorite et l'ilménite, de très nombreux cristaux d'apatite en prismes allongés(1mm x 100microns) et / ou en sections hexagonales (100 microns). Les minéraux opaques sont représentés par pyrite, hématite et ilménite.

L'étude aux rayons X sur roche totale donne :

SQ 52 f.(RX) chlorite^{++}.quartz$^{\pm}$.albite^{+}(An_5).orthose^{-}.ilménite^{-}.reliques (augite.hornblende brune.biotite.)

Pour les chlorites nous obtenons une répartition beaucoup plus vaste que dans les autres groupes.

SQ 52f. $Mg_{3,42}Fe_{1,45}Al_{1,13}(Si_{2,87}Al_{1,13})O_{10}(OH)_8$ R=0,30 Pycnochlorite.

SO 632. $Mg_{2,10}Fe_{2,55}Al_{1,35}(Si_{2,65}Al_{1,35})O_{10}(OH)_8$ R=0,55 Ripidolite.

SM 69a. $Mg_{1,85}Fe_{2,55}Al_{1,60}(Si_{2,40}Al_{1,60})O_{10}(OH)_8$ R=0,58 Pseudothuringite.

SM 610a. $Mg_{1,43}Fe_{3,15}Al_{1,42}(Si_{2,58}Al_{1,42})O_{10}(OH)_8$ R=0,69 Aphrosidérite.

SN 329. $Mg_{2,19}Fe_{2,50}Al_{1,31}(Si_{2,69}Al_{1,31})O_{10}(OH)_8$ R=0,53 Ripidolite.

2" $Mg_{2,13}Fe_{2,75}Al_{1,12}(Si_{2,88}Al_{1,12})O_{10}(OH)_8$ R=0,56 Brunsvigite.

Toutes les roches de ce type montrent une altération de type hydrothermal très prononcée.

2.2.6.-Les Filons spilitiques.

Il s'agit d'un groupe très important, comme on peut s'en rendre compte par le nombre de gisements et très uniformément réparti sur tout le secteur étudié. Ce sont généralement des roches vertes à texture aphanitique souvent assez riches en mouchetures de chlorite, cristaux de pyrite et petites vacuoles de calcite. Elles se présentent en filons très minces (0,3 m.en moyenne)ou en bordure de filons basiques plus importants .

L'échantillon type(SO 23) provient d'un filon situé sur l'arête W du sommet S du Sirac après la pyramide signal 2923,7 m. C'est un filon de 0,5 m d'épaisseur, orienté N - S et à épontes très nettes. La roche est à patine verte et texture aphanitique.

L'étude en lame mince (cf.Pl.I.35 photo 3) montre une structure intersertale en lattes(0,5x0,08 mm)effilochées d'albite-oligoclase (An_{10})à mâcles polysynthétiques assez floues, et à lattes ou plages bleutées d'orthose. Les lattes feldspathiques ne sont pas sériciti-sées mais envahies par de fins vermicules de chlorite. La mésostase chloriteuse, très abondante, est très riche en ilménite exsudant du leucoxène et contient quelques grains de quartz xénomorphes*. Cet échantillon à structure assez fraîche pour une spilite, ne contient pas de fantômes de péridots .

Les variations que l'on peut noter par rapport à ce type sont importantes :

- altération généralisée par envahissement de chlorite, calcite et séricite;
- structure microlitique à fins microlites albitiques (100-200x20 microns) ou microlitique porphyrique (cf.Pl.I 36photo 1) à phéno-cristaux de plagioclases séricitisés et chloritisés et fantômes de ferro-magnésiens.
- veines, vésicules et cristaux isolés d'albite fraîche de néofor-mation (cf.Pl.I.36 photo 2),
- fibres d'apatite parfois nombreuses, de même que de petites épi-dotes difficilement discernables des exsudations de leucoxène.
- les péridots, lorsqu'ils sont présents, sont toujours transfor-més en calcite-quartz-chlorite avec souvent des oxydes ou hydro-xydes de fer soulignant les bordures ou les clivages . On observe également (SR 44) des amas millimétriques de péridots (cf.2.4.7.3) totalement pseudomorphosés en chlorite + quartz+antigorite+ talc (détermination RX).
- vacuoles amygdalaires de quartz + calcite+chlorite contenant souvent des grains de pyrite frangés d'hématite.

L'étude aux Rayons X des formations trop altérées pour être étu-diées microscopiquement nous donne d'une manière générale: albite BT(AN_0) à oligoclase (An_{18}).chlorite.orthose.quartz. calcite.mica(séricite).pyrite.

Diverses chlorites ont été étudiées; presque toutes ont une composition de ripidolite:

SO 642c : $Mg_{1,59}Fe^{++}_{2,9}Al_{1,51}(Si_{2,49}Al_{1,51})O_{10}(OH)_8$ R=0,65 Pseudothuringite.

SN 62a : $Mg_{2,49}Fe^{++}_{2,3}Al_{1,21}(Si_{2,79}Al_{1,21})O_{10}(OH)_8$ R=0,48 Ripidolite.

SO 628b : $Mg_{2,51}Fe^{++}_{2,2}Al_{1,29}(Si_{2,71}Al_{1,29})O_{10}(OH)_8$ R=0,47 Ripidolite.

SM 47 : $Mg_{2,43}Fe^{++}_{2,25}Al_{1,32}(Si_{2,68}Al_{1,32})O_{10}(OH)_8$ R=0,48 Ripidolite.

SO 22a : $Mg_{2,63}Fe^{++}_{2,10}Al_{1,27}(Si_{2,73}Al_{1,27})O_{10}(OH)_8$ R=0,45 Ripidolite.

---

* Nombreuses vacuoles sphériques de calcite à bordure chloriteuse plus ou moins épaisse.

Pl.I.36

LEGENDE

Photo 1 (p.121) - PN 61a - -Lumière naturelle -

Filon spilitique.

Structure microlitique porphyrique.
- phénocristaux feldspathiques(F) diaclasés , à coeur ± sériciticisé.
- trame constituée de microlites feldspathiques.
- mésostase constituée de chlorite, ilménite et surtout limonite (L).
- vacuoles sphériques chloriteuses (Ch).

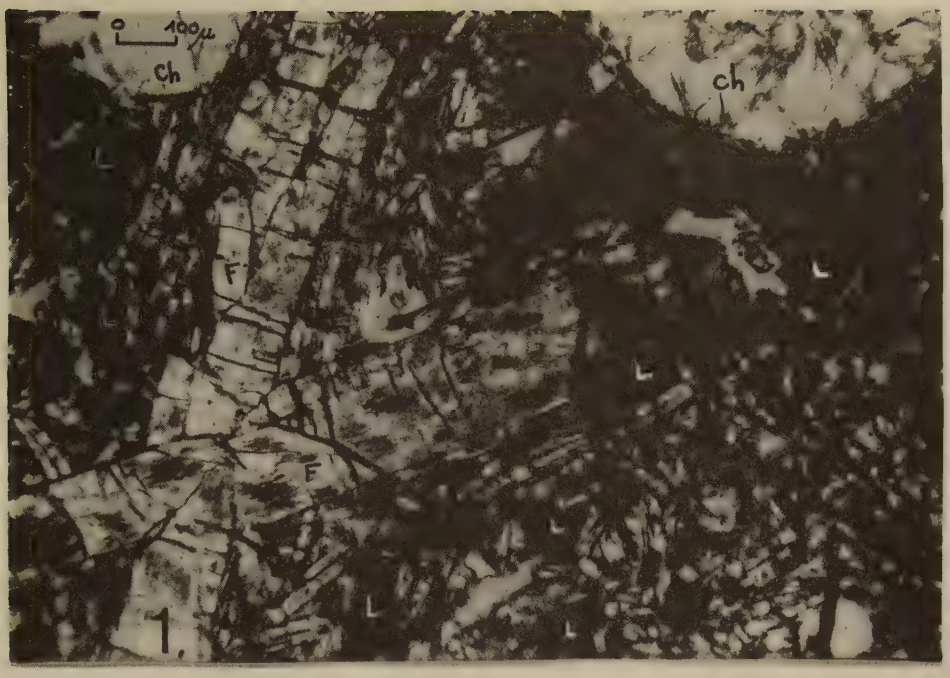
Photo 2 (p.121) - SO 642c- -Lumière polarisée.-

Veine d'albite de néoformation (V.A.N.) dans un filon spilitique :
les cristaux d'albite sont frais, non altérés, tous jointifs, les plans de macles sont nets.
On peut noter l'opposition avec la matrice spilitique où les cristaux baignent dans une mésostase chloriteuse (MC), les lattes apparaissent effilochées, envahies par les vermicules de chlorite et les plans de macle sont flous.

Photo 3 (p.124) -4.3.- - Lumière naturelle -

Lamprophyre micacé (minette/kersantite).

les lamelles biotitiques automorphes (B) flottent sur un fond microgrenu composé de feldspath, quartz et minuscules aiguilles biotitiques en partie chloritisées (F.Q.B)


0 100μ
Ch
Ch
L
F
F
L
L
L
L
L
1.

M.C
L
P
N
M.C
0 100
M.C
2

B
B
B
B
B
B
Q
Q
Q
Q
0 100μ
3

2.3.- LES LAMPROPHYRES.*

Ils sont uniquement représentés dans le secteur étudié par des lamprophyres micacés (minettes/ kersantites)appartenant à des secteurs bien délimités: régions du Valbonnais et du vieux Chaillol (W et SW du massif).

C'est aux environs d'Entraygues qu'ils s'observent le mieux, en particulier sur les pentes du massif du Vet (2161 m.), dans le talus de la route d'Entraygues au Perrier&d'Entraygues à Gragnolet, ainsi que dans la Combe des Roberts. Ces filons , souvent ramifiés, qui ont de 0,5 à 5 m. d'épaisseur recoupent , avec des contacts très nets, les formations cristallophyliennes et les conglomérats houillers (Westphalien D).

Les roches sont gris foncé, assez compactes, d'aspect saccharoïde où brillent les paillettes micacées. Lorsqu'elles sont fortement altérées, elles sont pulvérulentes, c'est d'ailleurs là l'origine du nom de Minettes: ce type de roche étant utilisé autrefois dans les mines de Framont(Vosges) pour boucher les trous d'explosifs.

L'échantillon de référence(4.3) provient d'un filon d'1 m. de puissance situé sur la route d'Entraygues au Perrier dans les conglomérats houillers.

En lame mince (cfPl.I 36 photo 3) la structure est lamprophyrique classique : grandes lamelles automorphes de biotite à pléochroïsme très intense(brun rouge à jaune rosé très pâle ou incolore) et coloration toujours plus intense sur les bordures (coeur plutôt de type phlogopite) . Ces cristaux, atteignant parfois 3x0,2mm , sont assez souvent tordus ou brisés, et flottent sur un fond quartzo-feldspathique de type microgrenu à très petites lamelles de biotite (100x 10 microns). Ce fond est également riche en sections diverses d'apatite : prismes allongés à aciculaires et sections hexagonales , celle-ci se rencontre également en inclusions dans les biotites . On note de rares plages de calcite; les quelques grains opaques présents sont pyriteux et plus ou moins altérés en hématite . Minéraux accessoires : zircons et aiguilles de rutile en inclusion dans les biotites .

Les variations observables par rapport à ce type sont les suivantes :

+ différence de taille des micas et des cristaux en général : la structure passant du type microgrenu à grenu fin ,
+ présence d'amas à contours arrondis, souvent accolés, remplis d'un matériel phylliteux piqueté de fines mouchetures de minéraux opaques pouvant représenter des fantômes de ferro-magnésiens (?).
+ dans certains échantillons à biotite entièrement chloritisée,la calcite en plages diffuses, souvent accompagnée de limonites, envahit peu à peu toute la roche.

- Les minéraux.

Les micas extraits de 2 filons d'Entraygues (4.1 et 4.3) ont été analysés . Les résultats sont donnés dans le tableau 10 ci-après; la formule structurale est calculée sur la base de 10 onygènes et de 2 radicaux hydroxylés selon la formule générale des micas trioctaedriques. $(Mg,Fe^{2+})_{3,00}(Si_{3,00}Al_{1,00})\ O_{10}(OH)_2K_{1,00}$.

---

* Nous reprenons ici, en partie, des travaux inédits de N.VATIN-PERIGNON et JL.TANE (analyses chimiques de roches totales et minéraux.

TABLEAU 10	1	2	3	4
SiO_2	38,35	36,60	38,00	36,50
Al_2O_3	13,65	13,75	12,75	14,25
Fe_2O_3	2,85	3,60	3,25	1,75
$Ti\ O_2$	2,60	1,90	2,30	0,95
Fe O	11,10	12,70	11,15	12,80
Mn O	0,20	0,15	0,20	0,15
Mg O	16,90	17,80	17,80	16,60
Ca O	1,95	1,35	2,60	3,15
Na_2O	0,35	0,25	0,45	0,35
$K_2\ O$	9,00	8,10	7,90	6,60
$P_2\ O_5$	0,15	0,25	0,35	0,35
H_2O +	2,10	2,90	3,00	4,65
H_2O -	0,10	0,50	0,35	0,40
Total :	99,30	99,85	100,10	99,50
Si	3,054	2,713	2,789	2,742
Al	I,279	1,200	1,102	1,258
Fe^{3+}	-	0,087	0,I09	-
Fe^{3+}	0,170	0,113	0,070	0,097
Al	-	-	-	0,002
Ti	0,155	0,105	0,126	0,109
Fe^{2+}	0,738	0,785	0,683	0,803
Mn	0,013	0,008	0,011	0,009
Mg	2,004	1,965	1,946	1,856
Ca	0,166	0,106	0,203	0,252
Na	0,054	0,035	0,06I	0,049
K	0,913	0,765	0,736	0,631
% d'ions en position octaédrique				
Mg	65,1 %	66,0 %	68,6 %	64,6 %
$R^{3+}(Al,Fe^{3+},Ti)$	10,5 %	7,3 %	6,9 %	7,2 %
$Fe^{2+}(Mn)$	24,4 %	26,7 %	24,5 %	28,2 %
Fe/Fe+Mg	0,35	0,34	0,3I	0,35
	1,627	1,625	1,623	1,628

Analyses des micas .- I : Ier filon d'Entraygues (4.1) (bord droit)- 2:(centre)- 3 :(bord gauche) - 4 :2ème filon d'Entraygues (4.3.)

-Analyste : F. KELLER , Grenoble 1969-

Par rapport aux analyses de biotites données dans la littérature, ces micas ont des teneurs plus faibles en Fe O mais plus fortes en MgO (écarts de 5 à 7 %).

Le pourcentage d'ions en position octaédrique reporté sur le diagramme de FOSTER (1960) classe ces micas entre le domaine du phlogopite (Mg 70 -100 %)et celui des biotites magnésiennes(Mg40-60%)

L'analyse aux rayons X des échantillons 4.3. et 4.5.2. donne la paragénèse suivante :

biotite.quartz.albite BT An_0 à oligoclase An20.chlorite.orthose (Or 95-100%).talc.calcite.hématite.sidérite.(amphibole).

les chlorites ont une composition de ripidolite:

4.3: $Mg_{2,87}Fe_{1,75}Al_{1,38}(Si_{2,62}Al_{1,38})\ O_{10}(OH)_8$ R=0,38

4.5.3:$Mg_{3,30}Fe_{1,40}Al_{1,30}(Si_{2,70}Al_{1,30})\ O_{10}(OH)_8$ R=0,30

Conclusions.

Ces lamprophyres micacés se caractérisent par la présence de feldspaths alcalins et de quartz, l'absence de minéraux ferromagnésiens autres que biotite et chlorite, et l'abondance d'apatite. Selon la classification donnée précédemment ces roches sont donc intermédiaires entre des minettes (présence de feldspaths alcalins potassiques) et des kersantites (plagioclase An_0 à An20).

Elles sont assez différentes de l'ensemble dolérito-spilitique tant par leur structure que par leur minéralogie(malgré la présence de feldspaths alcalins et de chlorite).

Pour SARROT-REYNAULD (1964) ces lamprophyres forment un réseau intrusif comparable à celui qui a donné les orthophyres des grandes Rousses mais qui aurait"avorté"sans parvenir jusqu'au jour , et serait antérieur ou contemporain de ces derniers. Pour cet auteur, ces laves ,peut-être stéphaniennes, correspondent vraisemblablement à un cycle orogénique lié à la phase asturienne. En revanche pour TANE (1963) ces lamprophyres seraient les cheminées volcaniques des épanchements spilitiques, donc triasiques.

La question se pose de savoir si ces lamprophyres appartiennent à un volcanisme Permo-carbonifère c'est à dire à une phase fini-Hercynien ,alors que l'ensemble dolérito-spilitique se rattache au volcanisme triasique lié à la phase tectonique alpine embryonnaire du Trias, mise en évidence par DEBELMAS et confirmée récemment par de nombreux travaux;(COLLART 1973),et GRATIER,LEJEUNE, VERGNE 1973). Mais ,on peut aussi se demander si les lamprophyres et l'ensemble dolérito-spilitique ne seraient pas contemporains, soit Triasiques.

En l'absence de données stratigraphiques et géochronologiques permettant de trancher, on peut tenter d'utiliser les données sur les évolutions magmatiques pour savoir si lamprophyres et ensemble dolérito-spilitique ont la même origine. Nous essayerons de voir au cours de l'étude géochimique s'ils appartiennent à la même lignée magmatique.

Rappelons simplement ici que le problème de l'origine des lamprophyres est très discuté et qu'aucune explication satisfaisante n'a, à notre avis, été proposée. En effet le groupe est si diversifié que les origines peuvent être multiples (ROSENBUCH 1899 et KNOPL 1936).Les plus couramment envisagées, et consignées dans VELDE (1969) sont les suivantes :

+ fusion partielle de roches grano-dioritiques à gabbroïques micacées (hypothèse de l'origine à partir du manteau supérieur),
+ différenciation d'un magma basaltique potassique,
+ par ailleurs les lamprophyres étant souvent liés au cortège granitique, de nombreux auteurs voient leur origine à partir de ces derniers.

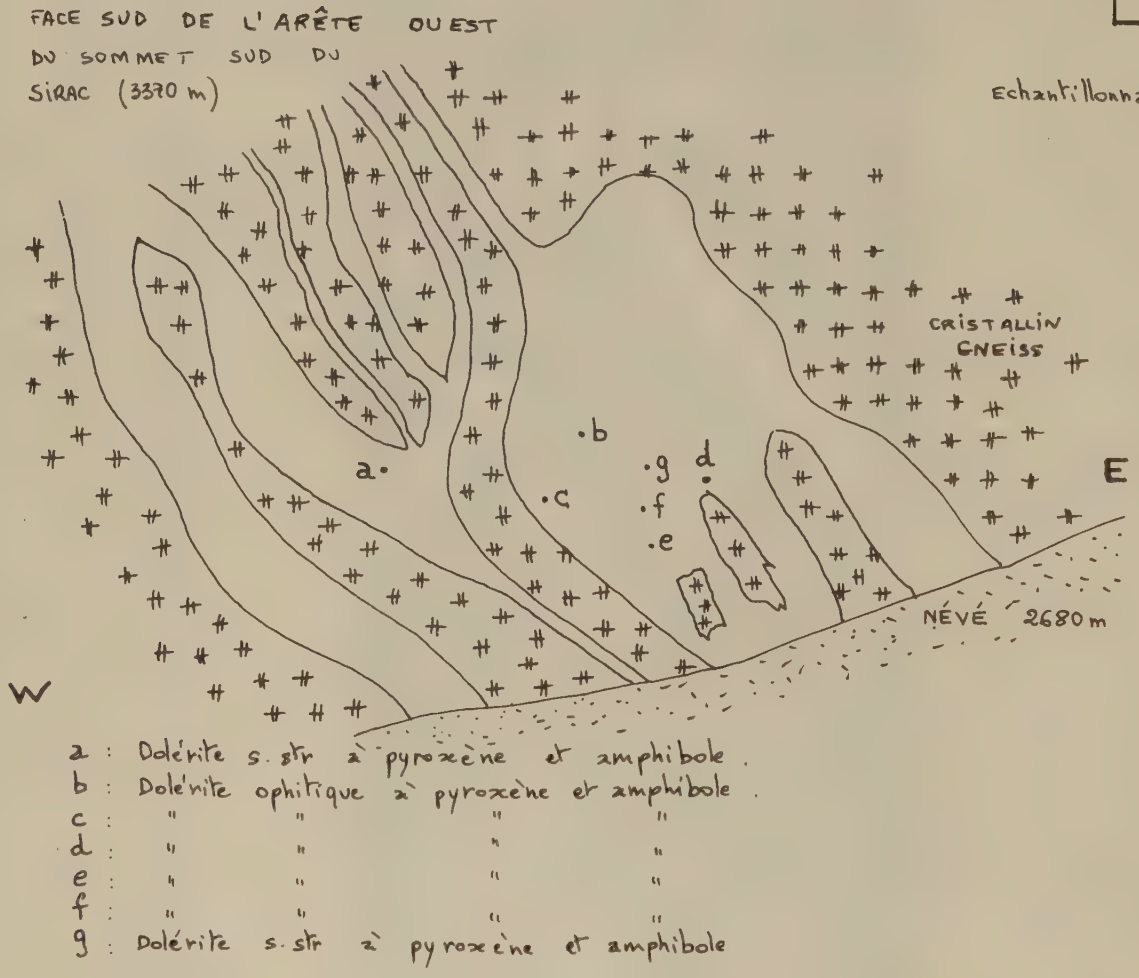
Pl.I.37- Polis glaciaires du torrent de Rougnoux(sous le Pic de la Cavale,2983m.)
Filons basiques dans l'encaissant gneissique.

Pour notre part, il nous semble beaucoup plus probable que ces lamprophyres se rattachent à un ensemble volcanique.

2.4.-Le secteur Crupillouse-Sirac-haut Vallon de la Selle (Vallouise)

2.4.1.- L'Amas doléritique de la paroi situé en rive gauche du Gouiran : X= 913,10 Y= 283,80 Z = 2680 m.

PL.I. 38



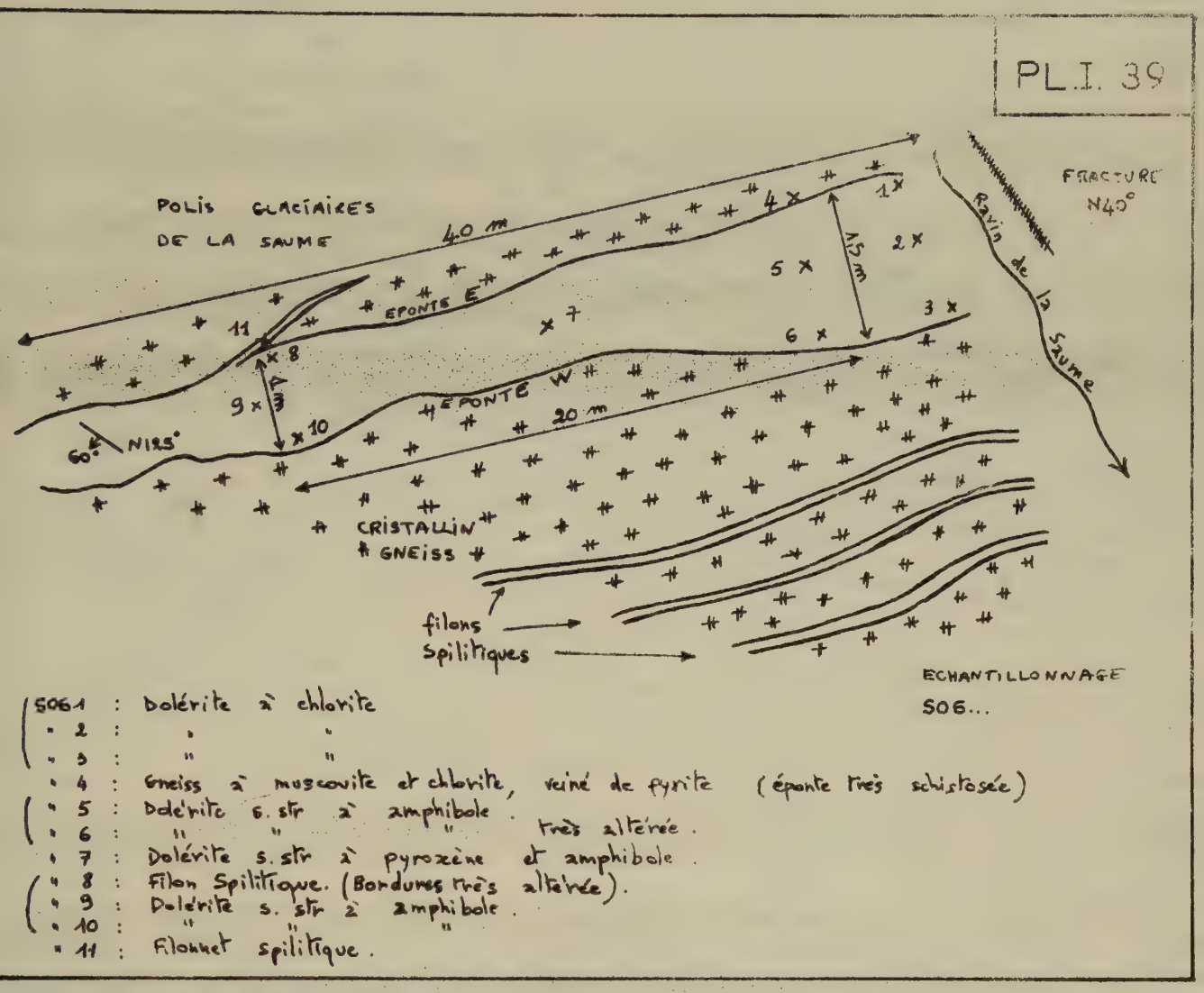
a : Dolérite s. str à pyroxène et amphibole.
b : Dolérite ophitique à pyroxène et amphibole.
c : " " " "
d : " " " "
e : " " " "
f : " " " "
g : Dolérite s. str à pyroxène et amphibole

Il s'agit d'un amas à ramifications filoniennes; sa structure doléritique à pyroxène et amphibole est variable et peut devenir ophitique à sub-ophitique voir intersertale.

2.4.2.- Ravin de la Saume.(Partie haute du Vallon de la Selle de Vallouise).

X = 918 Y=283,44 Z=2550m.

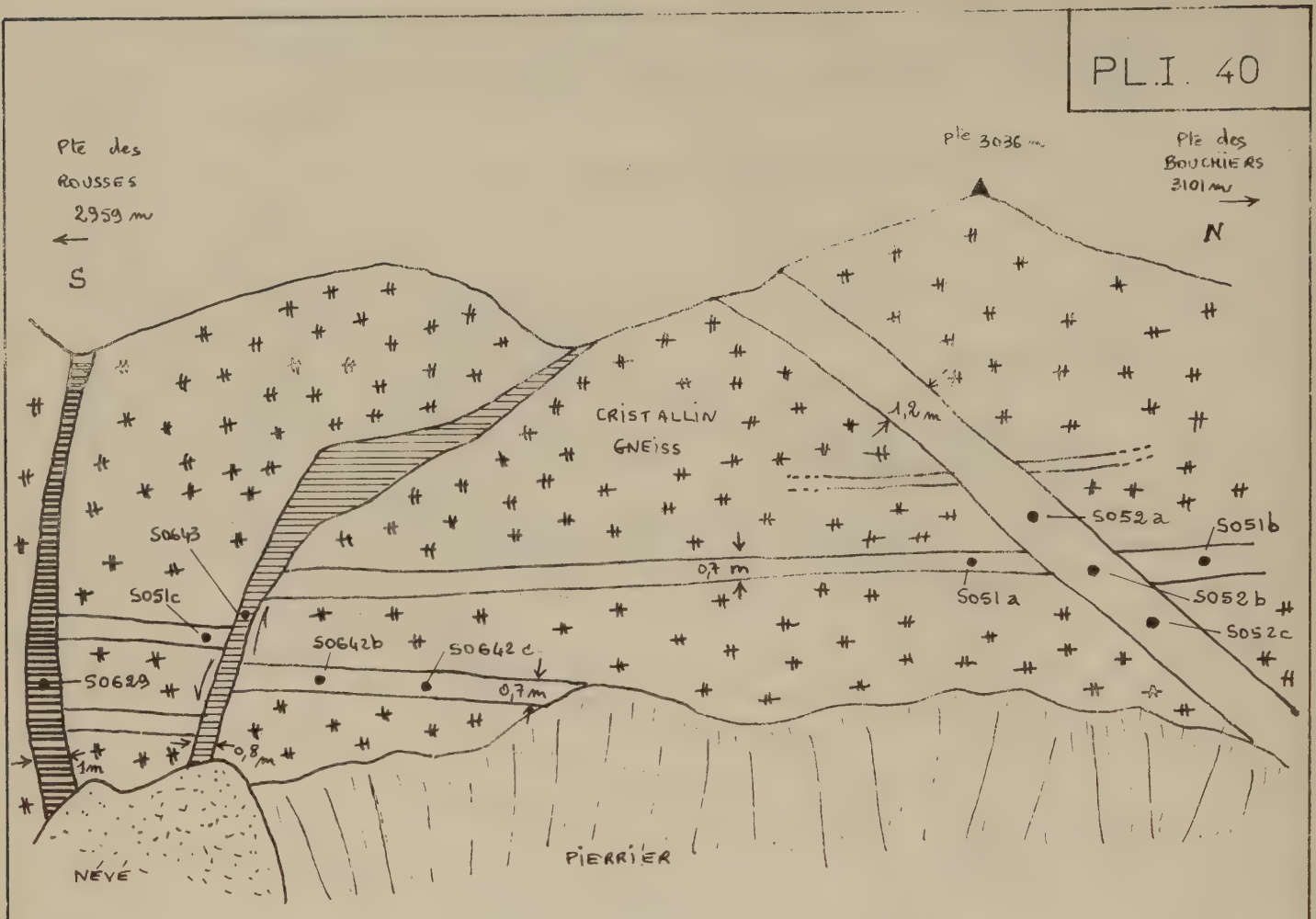
Filon de 1 m. de puissance, (échantillonné verticalement et latéralement sur 20 m.), orienté N125 et penté 60° SW, la roche y est macroscopiquement très homogène, gris bleuté, à texture parfois finement saccharoïde et contenant par endroits des petites bulles de calcite.



Au-delà d'une zone de fracture, ce filon se retrouve(N 140 et penté 50 SW) avec un faciès de dolérite microcristalline à amphibole. La coupe que nous avons faite montre de très intéressantes variations au sein d'un même filon et met bien en évidence l'homogénéité de l'ensemble dolérito-spilitique.

2.4.3.- Filons sécants sous la pointe 3036 de l'arête Pointe des Bouchiers - Pointe des Rousses. (haut vallon de la Selle). X= 917,05 Y=283,58 Z=3010 m.

PL.I. 40



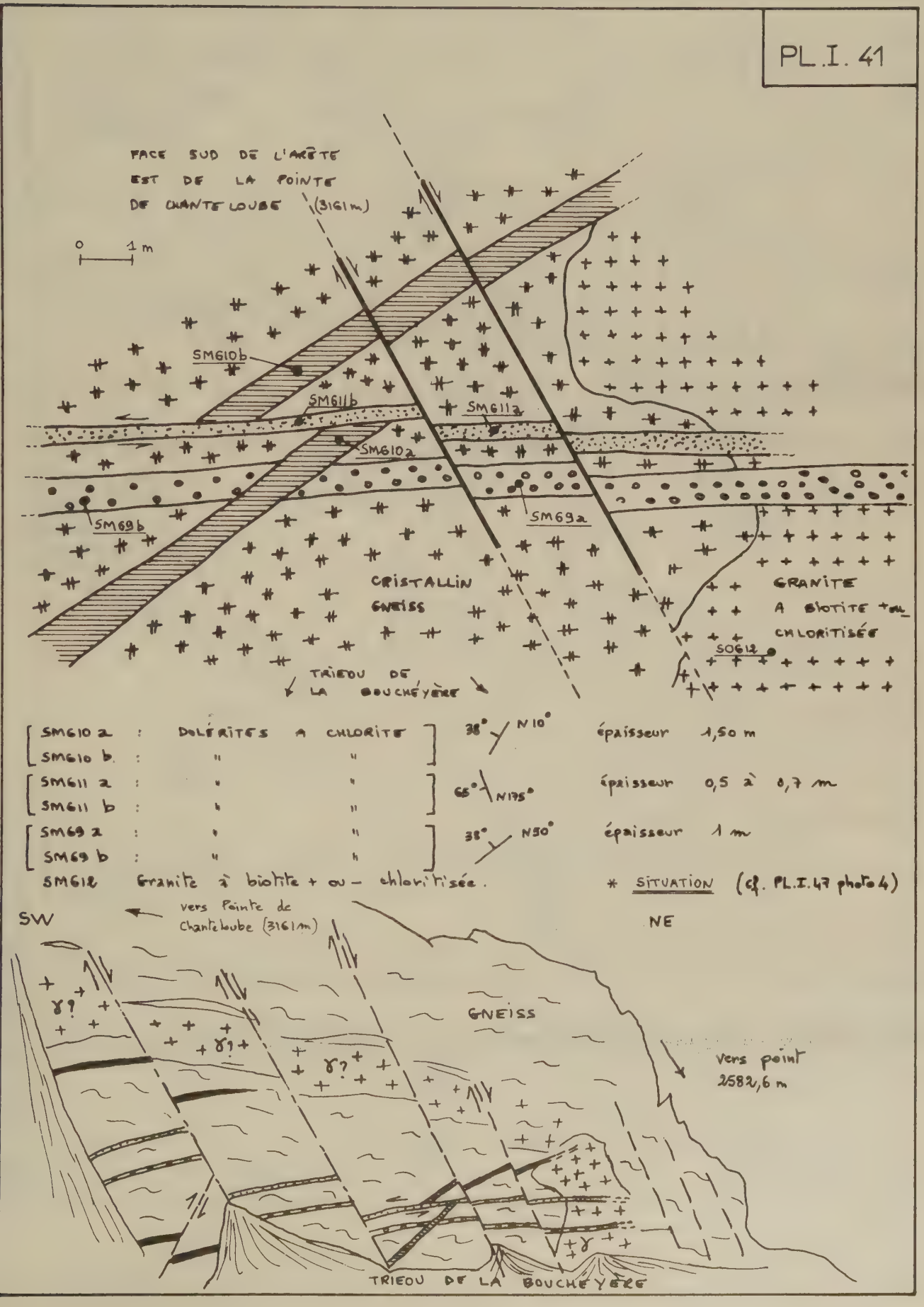
S0629 : Filon de quartz à hématite.
S0643 : Filon microgranitique
S0642b : Dolérite microcristalline à amphibole.
S0642c : Filon spilitique.
S051 a et b : Dolérite s.str à pyroxène et amphibole.
S051 c : " " " "
S052 a : Dolérite s.str à pyroxène et amphibole.
S052 b : " " " "
S052 c : " " " "

orientation 40° N145°

Cet affleurement montre des intersections de filons de même nature: dolérites s.str. à pyroxène et amphibole, ultérieurement recoupés et décalés par un filon microgranitique ainsi que par un important filon minéralisé de quarts à hématite.

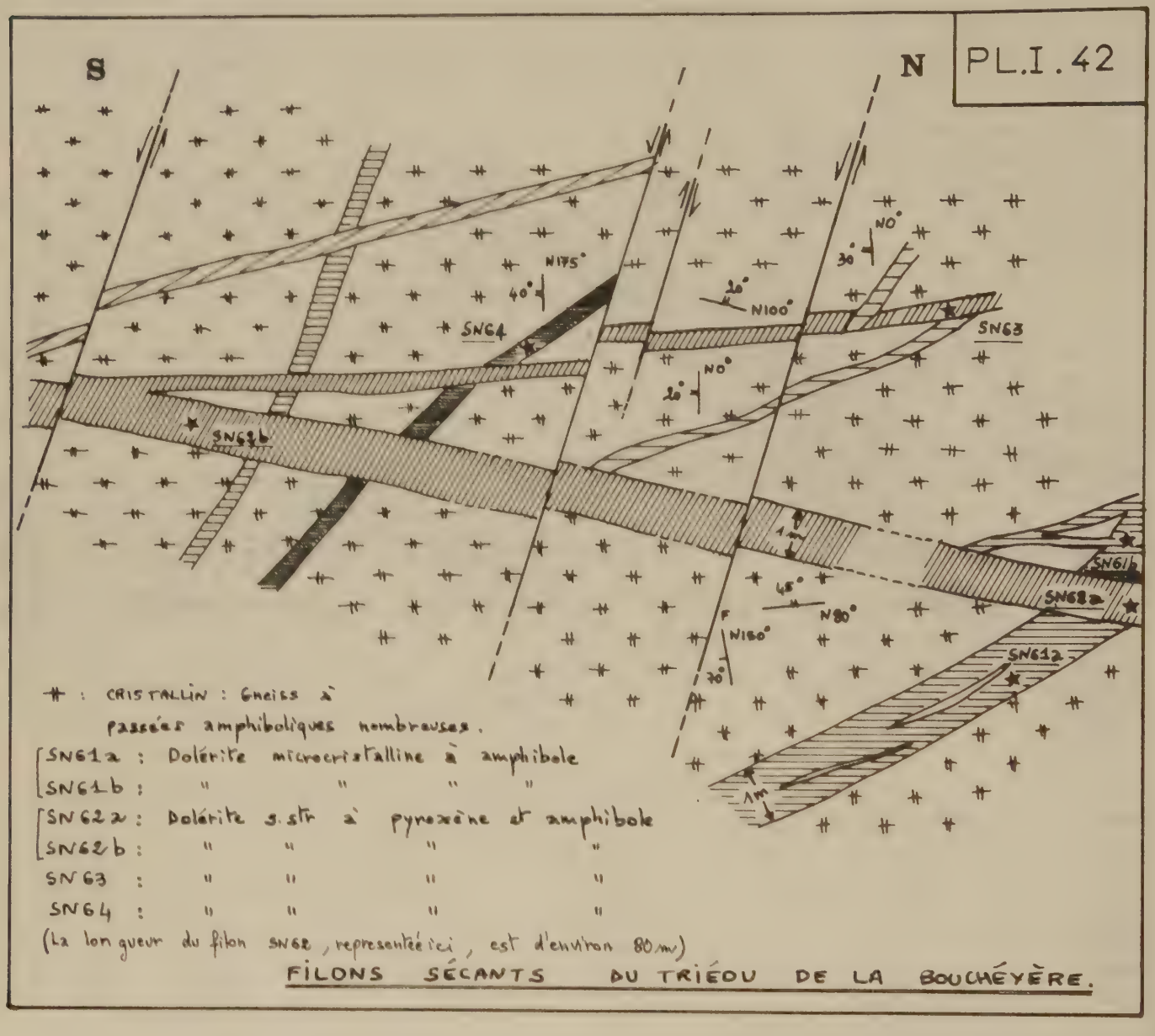
2.4.4.- Les filons sécants de la base du flanc S de l'arête E de la Pointe de Chanteloube (3161 m.) (haut vallon de la Selle)
X= 917,80 Y=285,15 Z= 2620 m.

PL.I. 41



Ces trois filons qui se recoupent et se décalent mutuellement sont pétrographiquement identiques:ce sont tous des filons doléritiques à chlorite.

2.4.5- Filons sécants du Triéou de la Bouchéyère(haut vallon de la Selle). X= 917,96 Y=285,15 Z=2580 m.

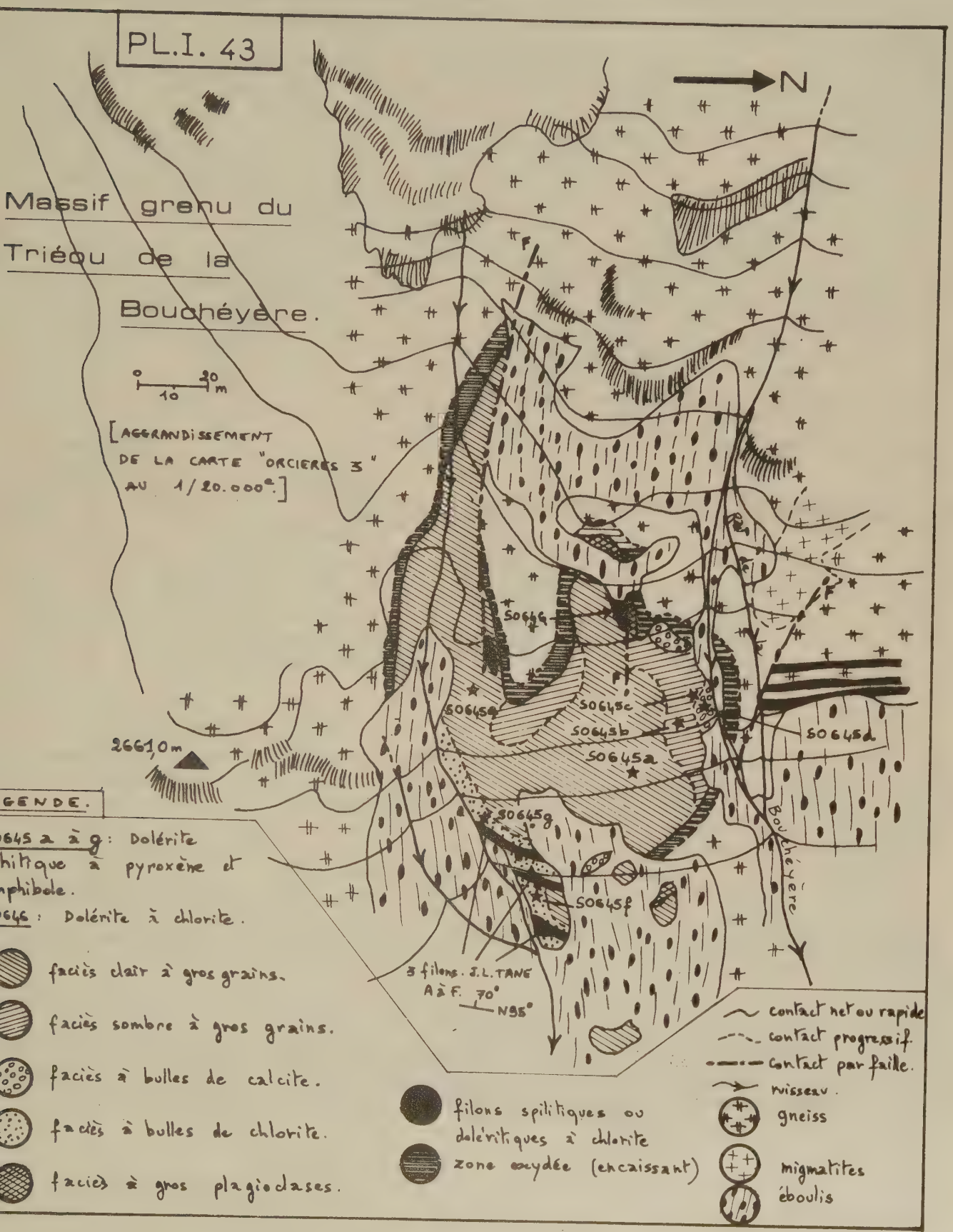


Tous ces filons sont de type doléritique à pyroxène et amphibole sauf l'un d'eux (SN 61) qui est une dolérite microcristalline à amphibole.

Le croquis montre que l'épaisseur du filon n'a que peu d'influence sur sa structure. Ici encore les filons doléritiques se recoupent mutuellement les uns les autres et sont donc tous contemporains.

2.4.6.- Amas grenu du Triéou de la Bouchéyère ,situé entre le ruisseau de la Bouchéyère et la pyramide signal 2661 m.(vallon de la Selle de Vallouise) :

X= 917,83 Y= 283,94 Z=2650m.

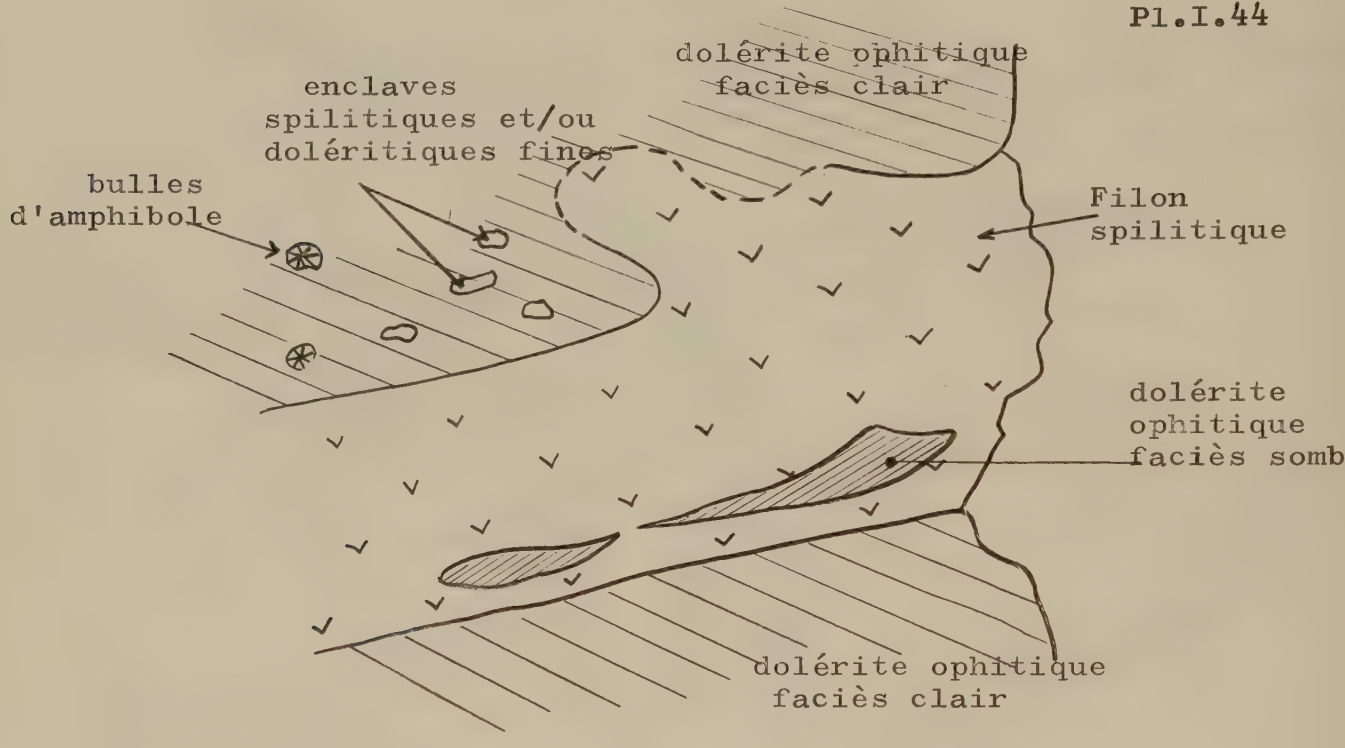


Tous les échantillons provenant de l'amas lui-même nous montrent une dolérite ophitique,à pyroxènes et amphiboles,de plus en plus altérée du coeur vers les bordures.

Cet amas dont on ne voit à l'affleurement que le faîte est entouré d'une zone d'altération, traduite par l'oxydation du fer et le débit schisteux des gneiss encaissants,à ferro-magnésiens totalement transformés sur 1 à 2 m.

La base de l'amas (partie E - SE) est " traversée" par 3 filons de type doléritique fin (Ech.1,2 et 3, et A à G). Ce sont des filons de dolérites microcristallines à amphibole montrant une partie centrale doléritique s.str.à pyroxène et amphibole (C,D,E).

Pl.I.44



Il est difficile de dire si les filons sont postérieurs à l'amas grenu ou si au contraire l'amas a digéré des filons préexistants. Il est possible de trouver des arguments en faveur de l'une ou l'autre interprétation :

+ ainsi les filons ont des épontes nettes par endroits mais floues à d'autres et montrent des zones boudinées.
+ on a des"enclaves" grenues dans les filons, mais aussi des enclaves doléritiques fines dans l'amas.

Par comparaison avec les filons sécants,étudiés précédemment, nous conclurons à une mise en place, à peu près synchrone, de l'amas et des filons.

Le fait important est la reconnaissance dans ces divers amas " grenus "de faciès de roches intrusives doléritiques ophitiques à pyroxène et amphibole représentant des poches magmatiques faisant partie intégrante de l'ensemble filonien dolérito-spilitique, et non, comme l'avait décrit précédemment PECHER (1970), de granite à amphibole ou diorite quartzique .

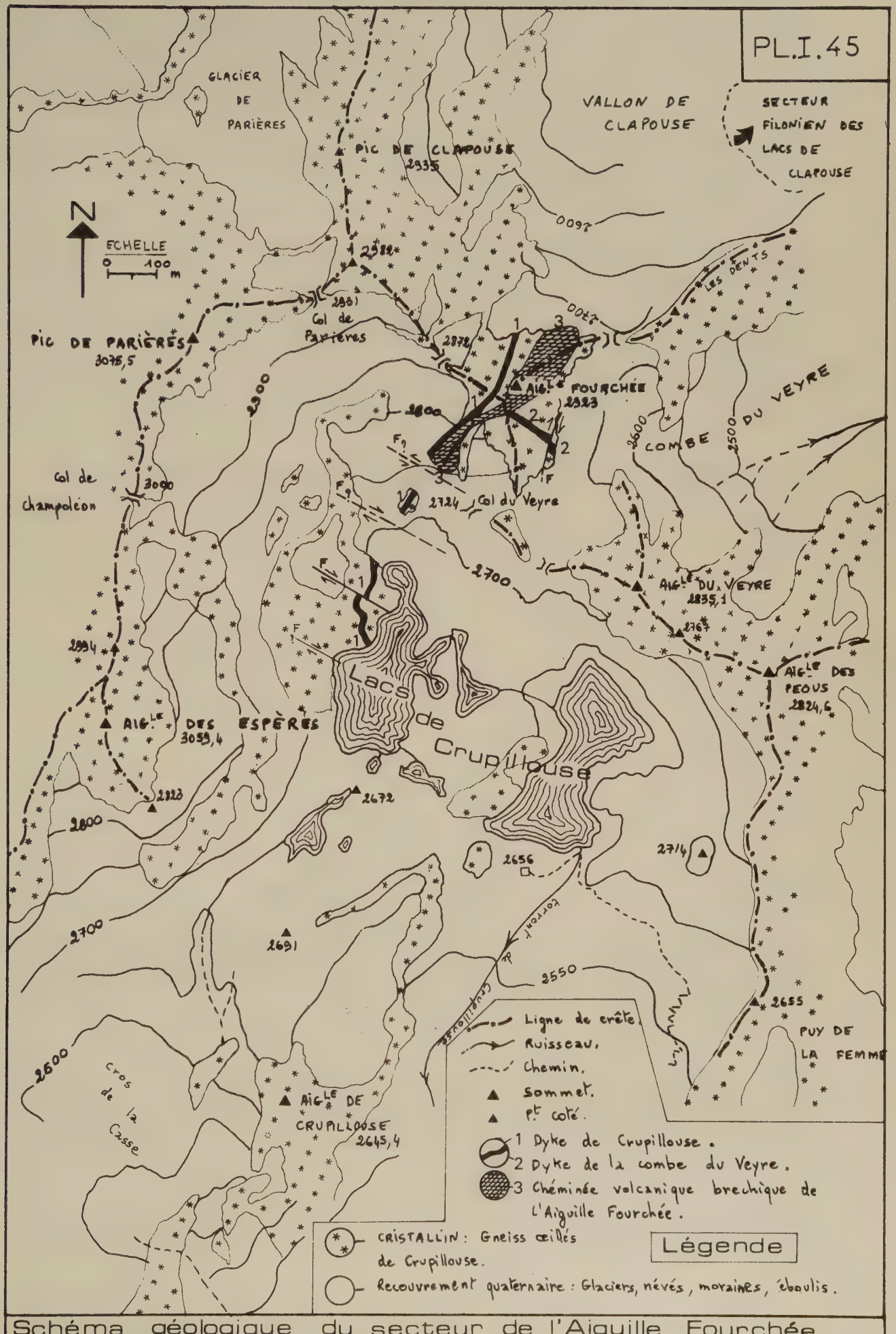


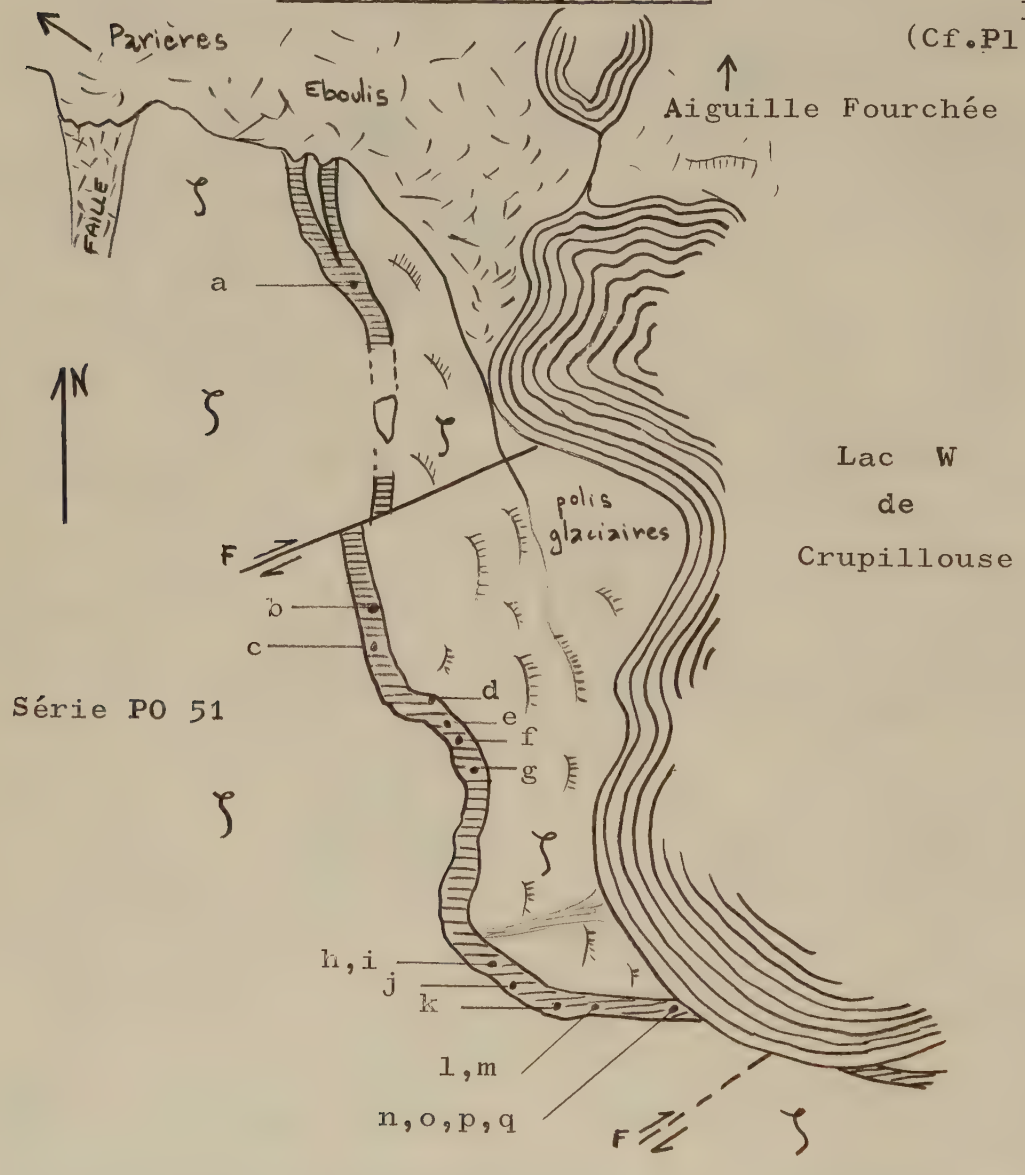
Schéma géologique du secteur de l'Aiguille Fourchée.

2.4.7.- L'Aiguille Fourchée .2928m.

" La cheminée volcanique de l'aiguille Fourchée " et le filon des lacs de Crupillouse (2670 m.) ont déjà été décrits antérieurement par MICHEL et VERNET (1956) et par TANE (1967). Nous avons repris l'étude de l'ensemble de ce secteur et étudierons séparément :
- le dyke de Crupillouse,
- la "cheminée volcanique brèchique de l'aiguille Fourchée ",
- le dyke de la Combe du Veyre (versant SE de l'aiguille Fourchée) non décrit à ce jour .

2.4.7.1.-le dyke de Crupillouse.

Pl.I.46
(Cf.Pl.I.45)



Ce filon d'orientation générale proche de N 20°,décalé par de nombreuses petites fractures,apparaît microscopiquement très différencié il montre en lame mince sur toute son épaisseur et toute son étendue un des faciès les plus altérés que nous ayons rencontrés dans le secteur étudié.

Nous avons précédemment décrit ce filon comme spilitique. En effet, la structure intersertale contient des phénocristaux craquelés de plagioclase, tous sont sériciticés, présentant un coeur envahi de minéraux fibreux.

La calcite microcristalline en plages diffuses gangrène toute la structure ne respectant ni les plagioclases,ni la mésostase. Cette dernière, essentiellement chloriteuse est très riche en minéraux opaques: ilménite, hématite, pyrite et limonite . On note de nombreux amas mimant des formes géométriques, à chlorite (ripidolite: (cf.Pl.I.47 photo 1), calcite et quartz . Certains de ces amas représentent des fantômes de phénocristaux de péridots (2x0,8 mm) (cf.Pl. I.47 photo 2). Aux rayons X nous obtenons la paragénèse suivante: (PO 51a) .

albite BT (An_0).quartz.calcite.chlorite.mica(séricite).talc.

d'autres échantillons renferment en outre de l'orthose ainsi que des traces d'augite.

Certaines lames minces(en particulier PO 51e) possèdent de véritables amas de fantômes de péridots qui, en plus de la pseudomorphose décrite, sont riches en Iddingsite. Nous pouvons mettre ces amas en relation avec ceux trouvés dans les filons situés à la base de la Route (SR 44 -SR 45) . L'échantillon PO 5I m montre de grandes plages (> 2x1mm) limpides de quartz xénomorphe se détachant sur un agrégat cryptocristallin de calcite-chlorite et feldspaths ; il possède , en outre, des fantômes de péridots.

2.4.7.2.- La cheminée volcanique brèchique de l'aiguille Fourchée (2928m.)

(Cf.page de garde)

Cette cheminée, constituant le sommet E de l'aiguille Fourchée, a une orientation proche de N50° à pendage N-NW. Nous avons étudié les parois N et S de cette cheminée ainsi que son sommet E . Elle est entièrement constituée des brèches volcaniques vert sombre qui sont de trois types :

+ brèches de ramonage:(cf.Pl.I.47 photo 3). De couleur noire, très indurées, à éléments anguleux de natures diverses : éléments de socle (gneiss ± migmatitiques),blocs de lave à enclaves de roches cristallines. Le ciment est fait d'éléments plus petits et même sub-microscopiques,de minéraux isolés et d'une pâte originellement vitreuse mais transformée en un agrégat cryptocristallin chlorito-calcitique.

Pl.I.47

LEGENDE

Photo 1 (p.137)-PO 55b- Lumière polarisée-

Serpentins de ripidolite (pile de sous), dans une vacuole à chlorite, calcite, quartz, d'un filon spilitique (dyke de Crupillouse, partie Nord).

Photo 2 (p.137)-PO 51q- Lumière naturelle-

Filon spilitique (dyke de Crupillouse, partie Sud).

Structure microlitique porphyrique.

- fins microlites albitiques flottant au sein d'une mésostase chlorito-ilménitique, anciennement vitreuse, envahie par la calcite diffuse.
- phénocristaux:
  - plagioclases(F) complètement séricitisés et envahis de vermicules de chlorite.
  - péridots (P) pseudomorphosés par la chlorite.

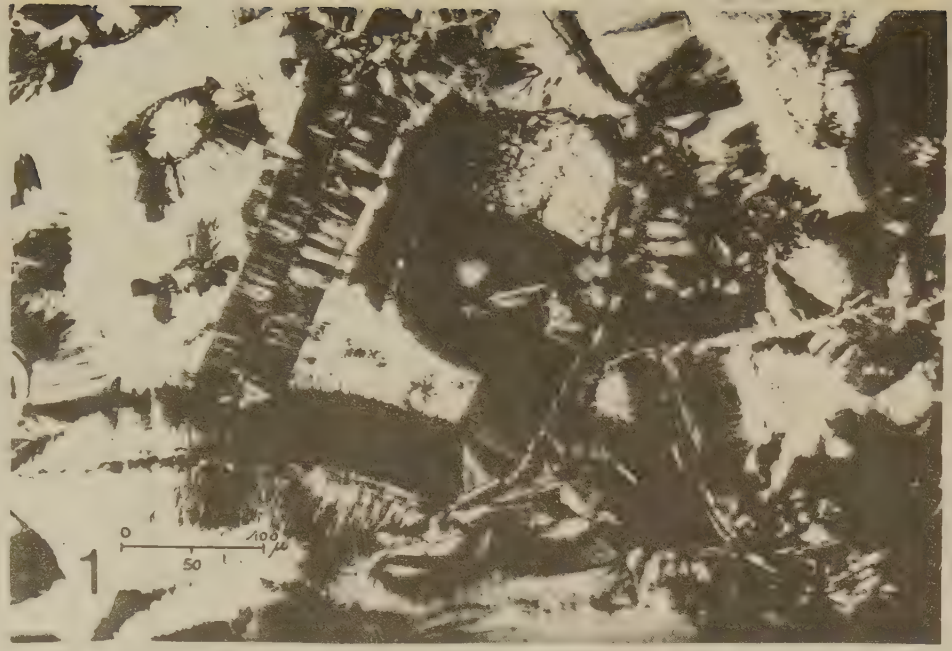
Photo 3 (p.137)

Aiguille Fourchée

- brèche de ramonage comprenant:
  - des enclaves spilitique (S)
  - des enclaves basiques ± grenues (B)
  - des enclaves de gneiss rubanné très micacé( ).
- fragment de brèche d'explosion (faciès sombre,B.E.).
- " bombe "spilitique détachée d'une brèche d'explosion.(B.S.)

Photo 4 (p.131)

Filons sécants de la base du flanc S de l'arête E de la pointe de Chanteloube (3I6Im). (Cf.Pl.I.41) .


0
100 µ
50
1

BS
BE
BR
S
S
S
3

F
F
0
100 µ
50
P
P
2

4

+ brèches d'explosion : de couleur plus claire (verdâtre) et peu consolidées. Les éléments volcaniques de couleur noire et d'aspect scoriacé sont facilement détachables, et possèdent généralement un coeur grenu. Nombreux éléments de socle, également de très grande taille (plusieurs décimètres). La matrice est du même type que précédemment mais pulvérulente.

+ brèches de friction. Les éléments du socle sont fracturés et ressoudés sur place par un ciment calcaro-limonitique parfois très abondant (on note également quelques fragments de lave). Elles forment, sur 1 à 2m.d'épaisseur, les bordures de la cheminée .

Ce type de brèche se rencontre également par places aux bordures des dykes de Crupillouse et de la Combe de Veyre. Le coeur de la cheminée est rempli de brèches d'explosion et de ramonage s'interpénétrant sur moins d'un mètre sans limites nettes. Dans cette masse brèchique serpentent de petits filonnets spilitiques de 10 à 20 cm.d'épaisseur, difficiles à suivre. On trouve également de gros blocs métriques de spilite. Le sommet de l'aiguille Fourchée est entièrement constitué de brèches de ramonage. Néanmoins le coeur même (pointe E) est constitué par une spilite massive aphanitique, vert bleuté, à structure identique à celle du dyke de la Combe du Veyre . Cette spilite représenterait donc la partie supérieure de ce dyke.

A la base de l'aiguille Fourchée (versant W) le dyke de Crupillouse semble faire corps avec la cheminée. Il s'enfonce ensuite dans les gneiss en direction de l'arête W de l'aiguille Fourchée. A ce niveau on note en bordure sur environ 20 cm.des brèches de friction. (l'encaissant présentant parallèlement aux épontes des filonnets d'opale rouge).

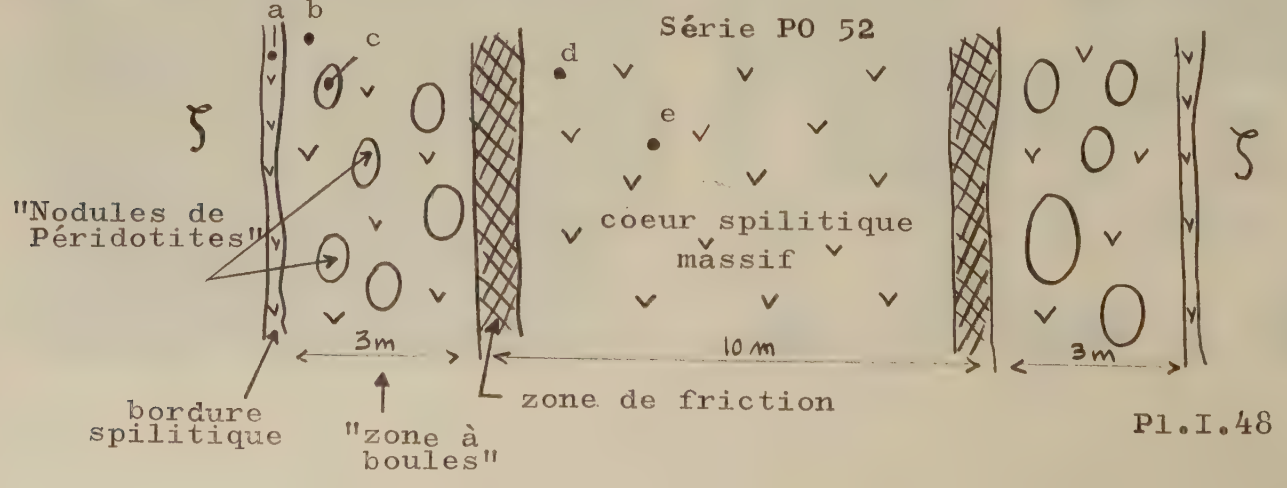
Une analyse aux rayons X effectuée sur la matrice des brèches de ramonage nous donne la paragénèse suivante :
orthose^{++}.quartz^{++}.chlorite^{++}.calcite$^{\pm}$.hématite^{-}.magnétite^{-}.sidérite^{-}.

Cette abondance (orthose et quartz) est due à la présence de microfragments ou cristaux isolés provenant du socle gneissique, les gneiss oeillés de Crupillouse étant riches en feldspaths potassique ; on ne note pas trace d'albite.

chlorite → $Mg_{2,62}Fe_{2,10}Al_{1,28}(Si_{2,72}Al_{1,28})\ O_{10}(OH)_8$ R=0,45 Ripidolite

2.4.7.3.-Le dyke de la Combe du Veyre

Ce dyke que l'on aperçoit au pied de la face SE de l'aiguille Fourchée au niveau de la Combe du Veyre se poursuit jusqu'à la pointe E de l'aiguille , selon une direction N110.



Pl.I.48

Ses bordures renferment des éléments brèchiques de 10 à 20 cm.de diamètre, entourés d'une croûte scoriacée. Ceux-ci sont englobés dans une matrice spilitique verdâtre, où la structure microlitique fluidale, complètement envahie par la chlorite et la calcite, contient de nombreux fantômes de péridots .

Etude des enclaves grenues du dyke de la Combe du Veyre .

En lame mince (PO 52 c) on observe un agrégat panxénomorphe de fantômes d'olivines et de pyroxènes entièrement pseudomorphosés par de la calcite, du quartz et de la chlorite (vérification aux rayons X); les minéraux opaques forment des plages xénomorphes entre les interstices des silicates (cf.Pl.I.49 photos 1 et 2); le coeur est quelquefois occupé par la picotite (en lumière naturelle coloration jaune à vert jaunâtre fortement réfringente), quant à la partie opaque elle est représentée par la chromite et la limonite. L'analyse chimique (ci-dessous) effectuée sur cet échantillon ne nous apporte que peu de renseignements, sauf si l'on admet qu'Al_2O_3 est l'élément le moins variant au cours de la spilitisation, dans ce cas on peut considérer sa valeur comme représentative. Cette valeur de 3,60 % se rapproche bien plus de la teneur moyenne en Al_2O_3 des modules de péridotite (1,84%) que de celles des cumulats d'olivine (13,75%).

en % poids d'oxydes		traces en p.p.m.	
SiO_2	22,30	Ba	10
Al_2O_3	3,60	Co	65
Fe_2O_3	6,33	Cr	1000
Mn O	0,72	Cu	180
Mg O	3,78	Ni	1000
Ca O	34,53	Sr	327
Na_2O	0,09	V	90
K_2O	0,29	Li	134
TiO_2	0,23	Rb	22
Perte au feu	28,07		
Total	99,94		

(Tableau 11 PO 52c)
(Analyse 32.387. C.R.P.G. Nancy 1973)

Nous pouvons conclure, en nous référant toujours aux travaux de BABKINE et Coll.(1966), que d'après ces quelques critères chimiques et minéralogiques, et en particulier le caractère interstitiel xénomorphe du spinelle, que nous sommes en présence de modules de péridotites et non de cumulats d'olivine et que ces "modules de péridotites, considérés par la plupart des auteurs comme des fragments du manteau supérieur, apparaissent toujours dans les basal-tes alcalins; les modules décrits dans les séries tholéïtiques constituant des exceptions (KUNO 1959) .

Le coeur du dyke remarquablement frais (Cf.Pl.I.49 photo 3) montre une très belle structure microlitique fluidale à fins microlites d'oligoclase (200x20microns) pour la plupart à macles polysynthétiques, enserrant des petits cristaux d'augite en partie chloritisés (50x100microns) et de très nombreux grains d'hématite. La mésostase chloriteuse est très réduite, on note également quelques cristaux xénomorphes de feldspaths potassique et quelques Péridots automorphes complètement chloritisés.

Pl.I.49

LEGENDE

Photo 1 (p.141) -PO 52c - -Lumière naturelle -

Dyke de la Combe du Veyre.

"Nodules de péridotites"

agrégat panxénomorphe de fantômes de péridots et pyroxènes totalement pseudomorphosés en quartz (Q), chlorite et calcite diffuse (Ch.Ca). Les films intergranulaires (apparaissant en noir sur la photo) sont constitués d'un alignement de micrograins de chlorite. Nombreuses aiguilles d'hématite.

Photo 2 (p.141) - PO 52c - - Lumière naturelle -

"Nodules de péridotites"

On aperçoit ici les minéraux opaques en plages xénomorphes :

- chromite (Cr.) avec picotite au coeur (pi).

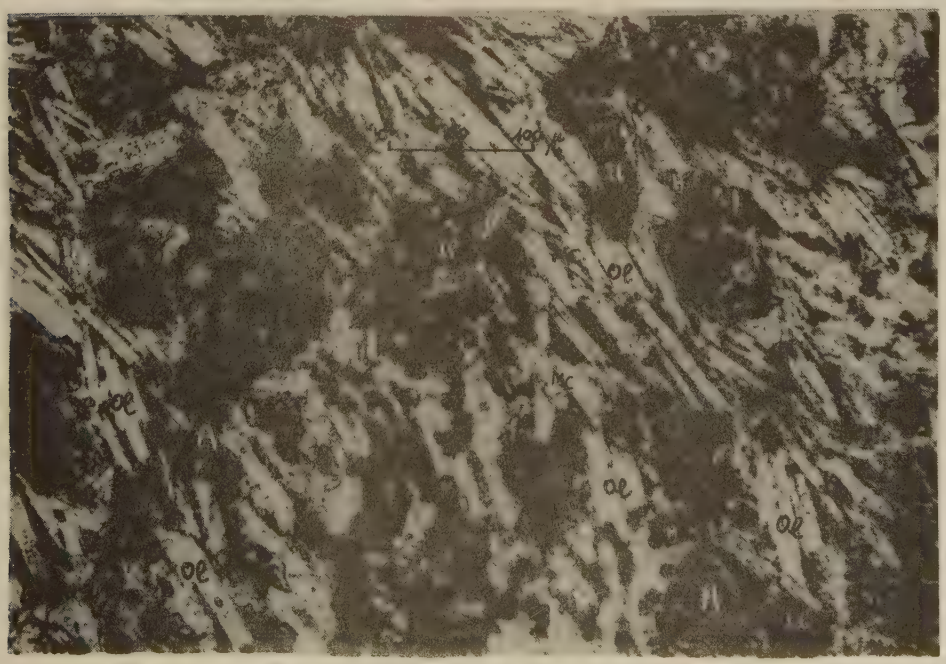
Photo 3 (p.141) - PO 52e - -Lumière naturelle -

Coeur du dyke de la Combe du Veyre : filon spilitique

Structure microlitique fluidale très fraîche :
- microlites d'oligoclase (Ol).
- nombreux petits cristaux d'augite (A)
- opaques : hématite et ilménite (H et Il)
- mésostase chloriteuse réduite (MC).

1

2



L'analyse aux rayons X des échantillons PO 52 d et e donne: albite-oligoclase (An_{10}).augite.chlorite ferrifère.quartz.talc. biotite.amphibole.vermiculite.ilménite (+ des minéraux phylliteux du type montmorillonite)

2.4.7.4.- CONCLUSIONS.

Les différents caractères minéralogiques et structuraux observables: abondance des fantômes de péridots, nature spilitique des dykes, brèches volcaniques de natures diverses, etc., nous permettent de croire, à la suite de MICHEL et VERNET (1956) et de TANE (1967)que nous sommes ici en présence d'un des points de sortie du volcanisme spilitique des Ecrins-Pelvoux.

Tout ce secteur est caractérisé par de très fortes teneurs en CO_2 , une partie des gaz a dû s'échapper avec la phase explosive responsable des brèches, mais une grande partie est encore piégée dans les laves de la cheminée et dans les filons en relation avec elle.

Nous rattacherons directement à cet ensemble de l'aiguille Fourchée, les filons spilitiques des lacs de Clapouse (au pied du versant N-NW) qui possèdent les mêmes caractéristiques minéralogiques et structurales, en particulier l'un d'eux PN 61 très riche en fantômes de péridots .Ces filons représentent le prolongement du dyke de Crupillouse plus ou moins ramifié et décalé par de petites fractures grossièrement E-W.

Les coulées spilitiques du Synclinal de Morges(Cf.§ 1.1.8 à 1.1.13.) situées à proximité immédiate seraient les épanchements laviques issus des dykes du secteur aiguille Fourchée-Clapouse. On peut ici essayer de mettre en parallèle le complexe volcanique formé par les coulées spilitiques de la Rouite et les filons spilitiques situés à sa base (rive gauche du Drac de Champoléon).

Ces filons présentent, en effet, les mêmes caractéristiques que ceux du secteur aiguille Fourchée-Clapouse, et ne représenteraient, en fait, que les cheminées d'amenée des épanchements laviques.

Il ne faut pas perdre de vue que du fait du décollement généralisé de la couverture au niveau du Trias, le passage filons laves n'a jamais été observé. Néanmoins nous rattacherons les filons de la base de la Rouite aux laves situées géographiquement au-dessus, étant donné que dans cette zone la couverture est presque en place.

2.5- Etude des directions filonniennes.

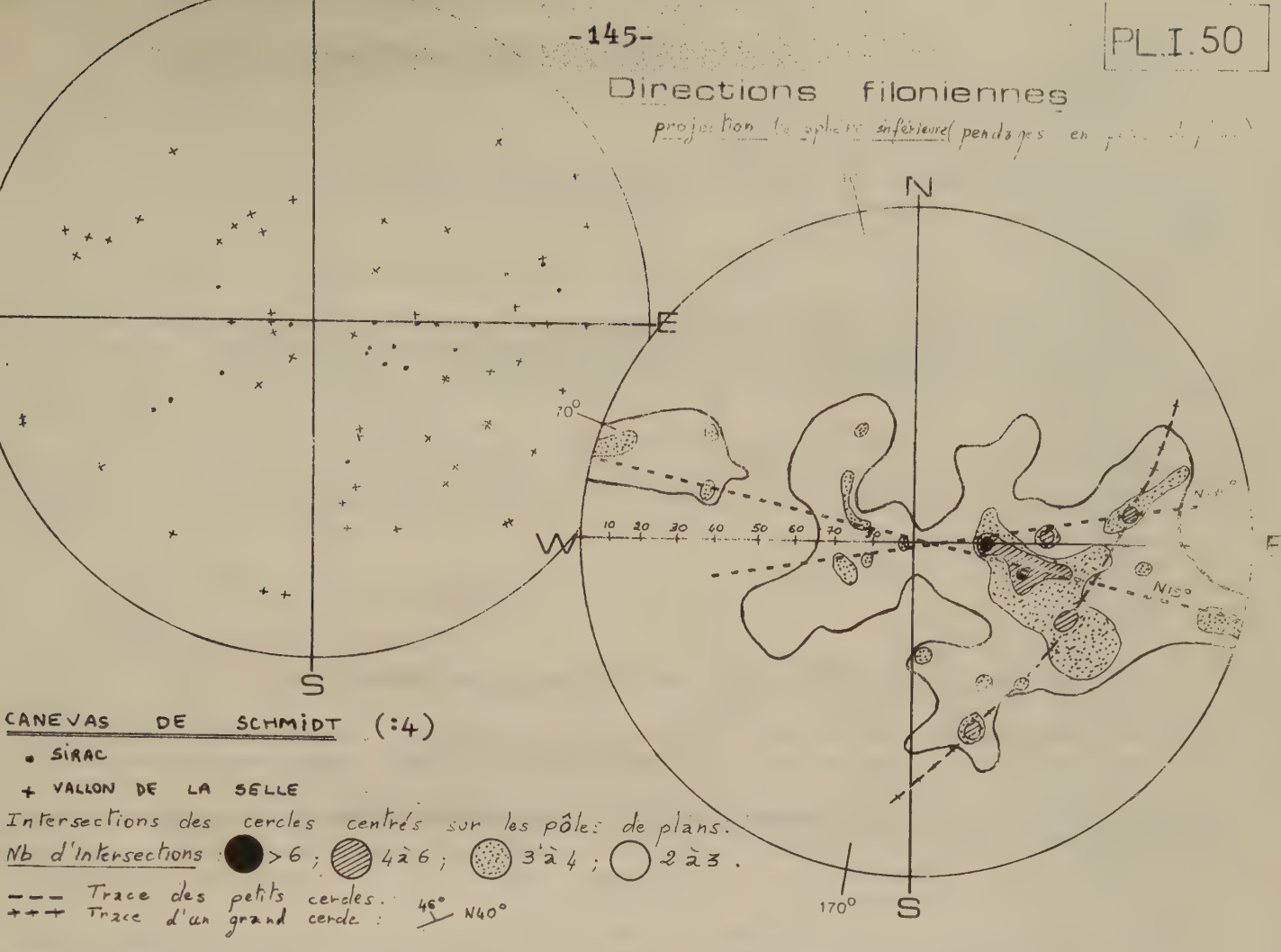
Le report sur canevas de SCHMIDT de toutes les directions filoniennes mesurées(Cf.Pl.I.50) nous permet de mettre en évidence une direction de fracturation principale N-S (de N170°à N20)* avec peut-être une autre direction N 70° mais ne représentant environ que 10 % des valeurs.

2.6- Synthèse de l'étude minéralogique et pétrographique des filons.

Le tableau 8 a déjà montré la répartition de l'ensemble dolérito-spilitique entre les diverses structures et les différents minéraux ferro-magnésiens présents. Nous avons établi cette classification uniquement d'après nos observations et pour essayer de les schématiser.Mais il ne s'agit pas d'un ensemble bien cloisonné. On observe au contraire tous les types intermédiaires;comme en témoigne le diagramme de répartition des minéraux ferro-magnésiens.Il en est de même pour les structures:tous les termes de

* à inclinaison W prépondérante, et montrant une double rotation (horaire ou antihoraire)
- de 30° à45° suivant un axe NI30° penté40° NW
- de 0° à 90° suivant un axe NI5° horizontal.

PL.I.50



de passage entre une dolérite microcristalline à amphibole et une dolérite ophitique à pyroxène et amphibole sont représentés. Malgré cela ce tableau fait bien ressortir l'unicité de l'ensemble dolérito-spilitique.

Nous ne reprendrons ici que les principales caractéristiques des différents minéraux observés dans cet ensemble .

2.6.1.- Feldspaths

Les feldspaths,plagioclase et orthose, appartiennent à des séries de basse-température.

- les plagioclases.

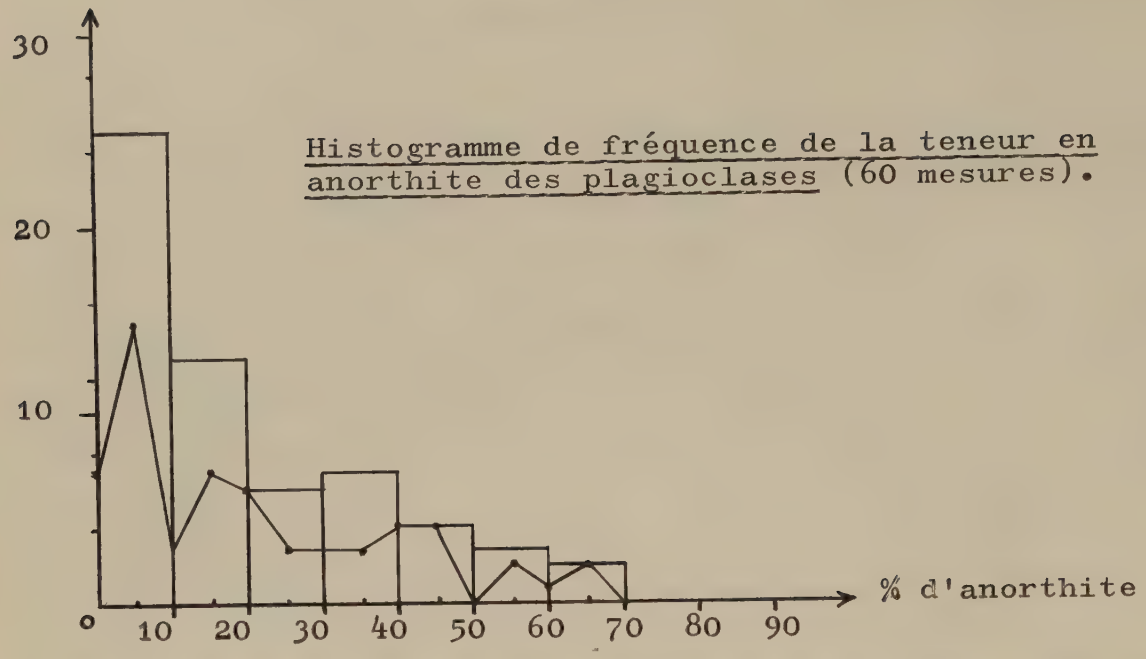
Les différentes mesures effectuées (60) sur les plagioclases par les méthodes optiques ou au moyen des rayons X (Cf.§ 1.2.1.2.) permettent de dresser l'histogramme de fréquence de la teneur en anorthite des plagioclases. (Cf.Pl.I.51 ci-après)

Cette courbe est assimilable à une distribution de type lognormal. La fréquence des mesures croit vers les faibles teneurs en anorthite: le maximum se situant pour une teneur de 5 % en anorthite. Cet étalement montre une acidification progressive de plagioclases calciques (valable également pour les plagioclases zonés). Ces plagioclases sont toujours présents sous forme de lattes automorphes à sub-automorphes montrant généralement la macle polysynthétique de l'albite. Les plans de macle sont très souvent diffus, rarement nets.(Comme on l'a vu précédemment les plagioclases zonés ne sont que l'exception).

Les altérations sont diverses: sériciteisation d'une part, envahissement des fissures par la chlorite d'autre part, sont les phénomènes les plus courants.

Nombre de mesures

Pl.I.51



Histogramme de fréquence de la teneur en anorthite des plagioclases (60 mesures).

Dans le premier cas les paillettes micasées(muscovite-phengite) pseudomorphosent tout le cristal, dans le second les vermicules de chlorite le plus souvent disposés perpendiculairement à l'allongement, recouvrent peu à peu le coeur des plagioclases.

- l'altération avec formation de quartz et calcite, généralement plus rare ne se développe que dans les filons spilitiques (dyke de Crupillouse,etc.) où la calcite diffuse envahit indifféremment toute la structure.
- la saussuritisation avec développement d'épidote est pratiquement inexistante.
- enfin il faut noter la kaolinisation très visible dans certaines dolérites ophitiques où les plagioclases ont un coeur nébuleux piqueté d'ilménite.

On peut noter ici la présence peu abondante d'albite de néoformation toujours en petits cristaux très limpides, isolés ou en veines ± diffuses dans la structure (Cf.Pl.I.37 photo 2) .

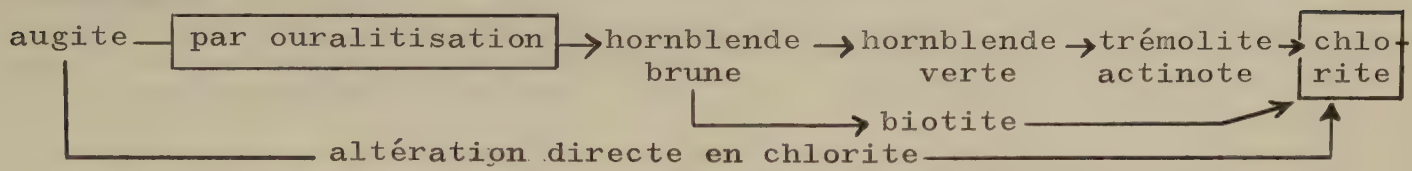
- le feldspath potassique.

L'étude aux rayons X (cf.§ 1.2.1.2.) confirme toujours la présence d'orthose (Or 95-100). Ce sont des plages xénomorphes à contours ± diffus et montrant les mêmes altérations que les plagioclases, mais quelquefois moins nettement développées. Nous n'avons jamais observé de perthïtes ou antiperthïtes .

2.6.2. - Pyroxène.

De même que les feldspaths ce sont des cristaux automorphes ou sub-automorphes (interstitiels) montrant fréquemment les 2 clivages orthogonaux. Les caractéristiques optiques , liées à la couleur toujours légèrement rose-violacée en lumière naturelle, sont celles de l'augite titanifère. L'indexation d'un diffractogramme de rayons X réalisé sur un minéral trié (SN 68.Cf.§2.2.2.) donne les mêmes caractéristiques que celles des augites des laves spilitiques, (déjà corrélées avec les augites basaltiques Cf.§ 1.2.1.2.).

Ces augites montrent souvent une altération complexe qui se résume ainsi :



L'altération directe en chlorite débute principalement le long des clivages, alors que l'ouralitisation est un phénomène périphérique . A cette altération est souvent associée de la calcite. Le stade final est toujours la chlorite.

Parfois se développent des " structures en vitrail" où les clivages sont fortement soulignés par les oxydes de fer. On observe très souvent des cristaux poecilitiques englobant des prismes d'apatite ou des lattes de plagioclase.

2.6.3. Amphibole.

Hornblende brune primaire.

En cristaux automorphes ou subautomorphes (intertitiels), particulièrement abondants dans les dolérites s.str. à amphibole et les dolérites microcristallines à amphibole . Dans les premières elles forment de très beaux prismes, dans les secondes elles se présentent en baguettes, ou en fibres plus ou moins aciculaires(Cf.Pl.I.34 photo 2).Leurs caractéristiques optiques sont celles d'une hornblende brune basaltique. Elles s'altèrent facilement en hornblende verte puis en trémolite-actinote et enfin en chlorite ,l'altération en biotite puis chlorite est beaucoup plus rare.

Enfin , comme les augites , elles sont très souvent poecilitiques englobant prismes ou aiguilles d'apatite et lattes de plagioclase.

Les amphiboles d'altération.

Elles proviennent de l'altération de la hornblende brune et de l'augite. Il s'agit essentiellement de la hornblende verte, de la trémolite-actinote, mais aussi de hornblende brune provenant de l'ouralitisation des pyroxènes.

Les trémolites-actinotes apparaissent souvent en baguettes fibreuses, plus ou moins aciculaires, associées à la chlorite dans les vacuoles ou dans les pseudomorphoses de ferro-magnésiens. Ces amas à caractère subhydrothermal sont contemporains des transformations en talc , séricite et chlorite.

2.6.4. Chlorite.

Elle ne prend sa véritable extension que dans les filons spilitiques où elle a la même importance que dans les laves.

Là encore,comme dans les laves, plusieurs"faciès chloriteux" peuvent être distingués:

- chlorite de la mésostase: cryptocristalline .
- chlorite de pseudomorphose : augite, hornblende, biotite & péridots.
- chlorite des vacuoles ou amas: elle montre alors généralement une structure en éventail ou en serpentin (cf.Pl.I.47 photo 1).

Comme précédemment dans l'étude des laves et des horizons intercalaires, nous avons reporté les chlorites déterminées par les rayons X dans les classifications de HEY et FOSTER (Cf.Pl.I.52).

Par comparaison avec les chlorites provenant des laves spilitiques (cf.Pl.I.28) elles apparaissent beaucoup mieux groupées mais toujours centrées sur le domaine du ripidolite. La substitution Mg/Fe fait varier le rapport R de 0,20 à 0,70(contre 0,05 à 0,65 pour les

laves, alors que celle de Si/Al apparait plus fréquente : Si 2,40-2,90 (contre Si 2,55-2,95 dans les laves). On peut conclure en disant que les chlorites des filons apparaissent sensiblement identiques aux chlorites des laves mais montrent néanmoins une homogénéïté de composition beaucoup plus grande . Ce sont presque exclusivement des ripidolites.

2.6.5. Minéraux opaques.

La seule différence avec les laves, est la très forte teneur en pyrite des filons. Les autres minéraux sont par ailleurs identiques, seule varie leur proportion relative.

- la magnétite, forme des cubes ou des grains, très souvent altérés en hématite. Vu la très forte teneur en titane des filons, il ne serait pas étonnant qu'elle renferme, de même que l'hématite, quelques % de titane;
- l'ilménite, comme dans les laves, se présente en micrograins disposés dans la mésostase chloriteuse. En lumière réfléchie l'ilménite, ordinairement rosée, est en partie transformée en une substance blanchâtre isotrope de pouvoir réflecteur supérieur à celui de l'ilménite. Cette substance ne diffracte pas . De la ROCHE,KERN et BOLFA (1962) ont pu mettre en évidence qu'il s'agissait d'une pseudomorphose s'accompagnant d'une perte en fer, mais sans perte de titane . Cette substance amorphe est voisine de l'arizonite. L'ilménite montre également de nombreuses exsolutions de leucoxène (reconnaissable à ses réflections internes en lumière polarisée);
- la pyrite souvent très abondante forme toujours des cubes ou des amas granulaires; elle est fréquemment bordée d'hématite.
- l'hématite est en grains, ou en baguettes lorsqu'elle est primaire; elle apparait par ailleurs couramment par oxydation de la magnétite, décomposition de l'ilménite,pseudomorphose de la pyrite, et des minéraux ferro-magnésiens.
- les limonites se retrouvent dans les roches les plus altérées.
- la sidérite ne se rencontre que très rarement(aiguille Fourchée) et n'apparait qu'aux rayons X.

2.6.6. Apatite.

Presque toujours présente dans les filons, c'est un minéral tôt formé contemporain de l'olivine, et antérieur aux pyroxènes, elle forme des fibres aciculaires constituant un fin treillis traversant tous les minéraux (sauf les péridots) . Dans les dolérites ophitiques ce sont plus souvent des prismes trapus (0,5x0,08mm) ou des sections hexagonales (Cf.Pl.I.33 photo 3).

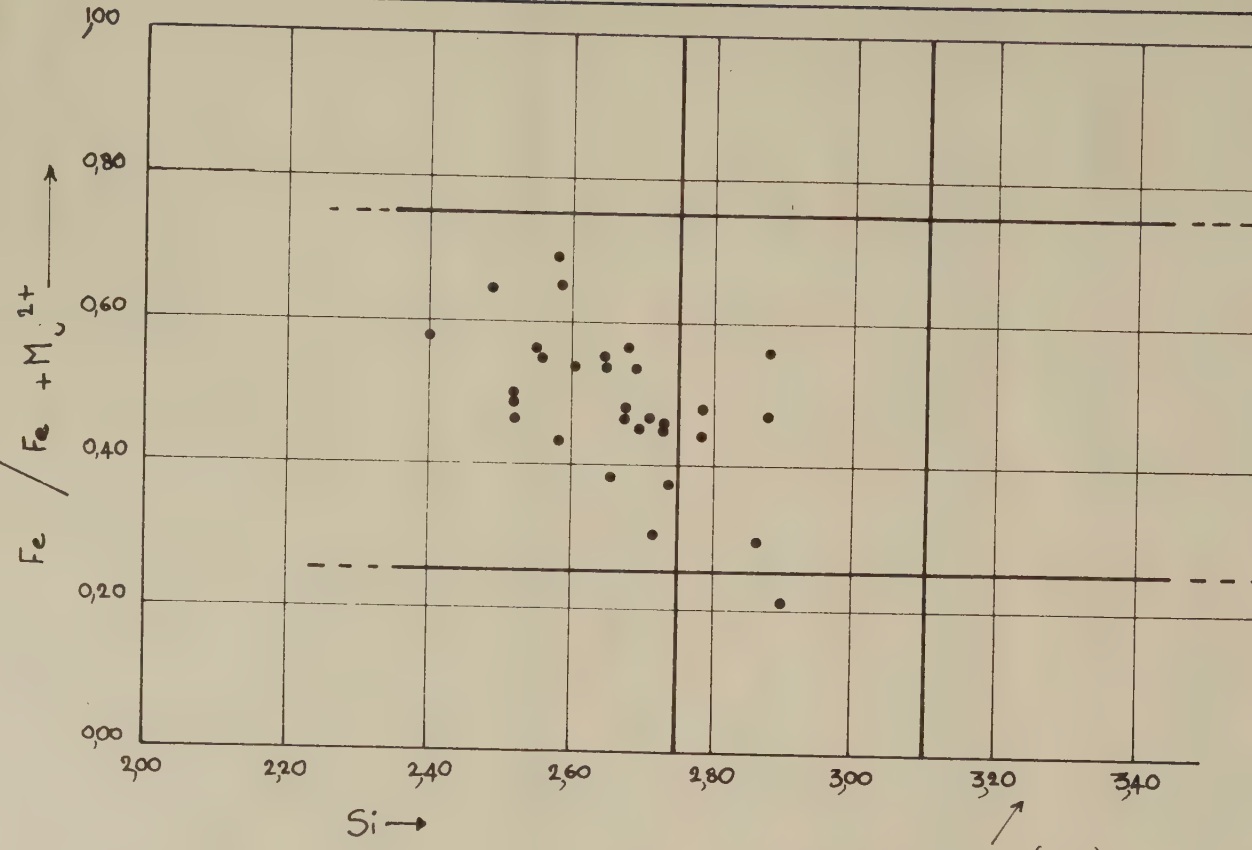
2.6.7. Micas.

Toujours présents mais sous divers aspects:

- biotite en petites lamelles automorphes ou en altération de la hornblende brune .
- muscovite et phengite (agrégats sériciteux) provenant de l'altération des plagioclases .
- talc associé à chlorite et trémolite-actinote dans des vacuoles et en pseudomorphose de ferro-magnésiens.

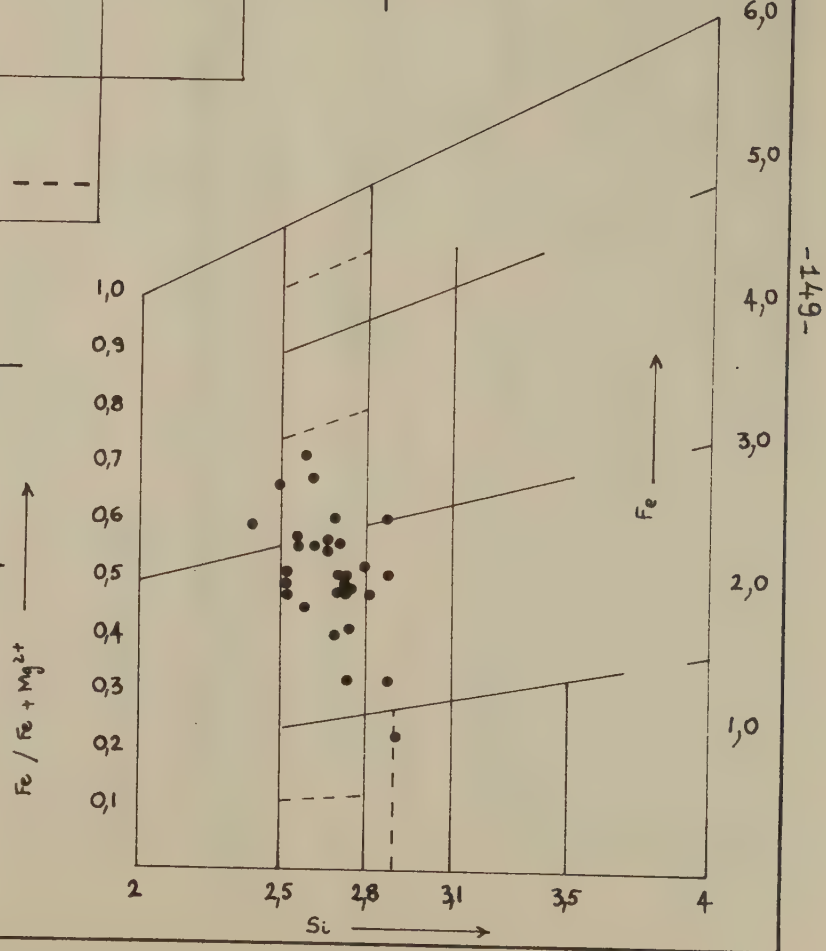
2.6.8. Carbonates, quartz et minéraux accessoires.

La calcite d'inexistante, peut dans certains filons, envahir toute la roche. Elle se rencontre en abondance dans les filons spiliques où elle se présente en agrégats diffus gangrenant toute la structure.



CLASSIFICATIONS → FOSTER (1962)

(cf Annexe I) → HEY (1954)



CHLORITES DES FILONS

Elle apparait dans les autres types doléritiques, en moins grande quantité et,le plus souvent, sous forme de monocristaux interstitiels. Seule ou associée à la chlorite et au quartz, elle est le constituant essentiel des vacuoles .

+ En dehors de cette localisation , le quartz se trouve en petits cristaux interstitiels isolés dans la mésostase, ou accompagnant les pseudomorphoses de ferro-magnésiens.
+ Comme minéraux accessoires il n'y a à signaler que les épidotes (pistachite et clinozoïsite), et de l'iddingsite rare (dyke de Crupillouse).

2.6.9.- CONCLUSIONS.

Nous avons pu mettre en évidence un ensemble filonien dolérito-spilitique homogène à deux directions contemporaines:N.S.dominant et N 70°. Ces filons sont à paragénèse actuelle simple:

+ Filons spilitiques
plagioclases (péristérites)-orthose-chlorite-minéraux opaques-calcite
-On peut reconnaître en outre des fantômes de péridots souvent parfaitement automorphes pseudomorphosés par la chlorite et l'hématite, et quelques fantômes de pyroxènes.

+ Filons doléritiques
plagioclases(An_{0-65})-orthose-augite titanifère-chlorite-minéraux opaques-apatite.

Les différents types minéralogiques et structuraux mis en évidence (dolérites s.str.,ophitiques,microcristallines,porphyriques et à chlorite ainsi que les spilites) montrent tous les termes de passage de l'un à l'autre et ne forment donc qu'un ensemble continu et homogène: le dyke de la Combe du Veyre,à coeur doléritique sans péridots et bordures spilitiques à péridots reconnaissables,en est un exemple.

+ L'ordre de cristallisation de ces paragénèses est à rapprocher de celui des coulées spilitiques pour lesquelles nous avions la succession suivante:

1) Péridots + oxydes de fer et de titane (spinelles)
2) trame feldspathique + augite.
chlorite de dévitrification et de pseudomorphose,
3) quartz , oxydes de fer de destabilisation,
minéraux à affinités hydrothermales: séricite,calcite, dolomite, pyrite.

Pour les filons, nous devons ajouter:
en 1) la cristallisation de l'apatite souvent très abondante,
en 2) celle de la hornblende brune et
en 3) les amphiboles d'altération: hornblende verte et trémolite-actinote; ces deux dernières se présentent en fibres la plupart du temps associées aux vacuoles chloriteuses.

+ Les divers amas grenus que nous avons étudiés se rattachent parfaitement à notre ensemble doléritique. Leur minéralogie est identique, seule leur structure ophitique est beaucoup plus grossière et apparait généralement très " fraîche ".
Ils représentent très certainement des termes déjà évolués par rapport aux produits magmatiques les moins différenciés, que l'on ne voit nulle part, et sont le terme de passage aux filons doléritiques du Sirac-Vallon de la Selle.

+ Le système volcanique de l'aiguille Fourchée, montrant la présence de brèches, d'une cheminée volcanique et de dykes en relation avec cette dernière, permet de faire la liaison entre l'ensemble filonien et l'ensemble lavique. Les fortes concentrations en CO_2 inhérentes à tout ce secteur peuvent s'expliquer par l'emprisonnement local des gaz dans des zones où ils ne pouvaient s'échapper du magma, alors qu'ailleurs ils étaient explusés lors de la phase explosive responsable des brèches.

+ les différences essentielles que l'on observe, entre les filons doléritiques et les filons spilitiques, concernent principalement leur minéralogie :
- les fantômes de péridots indubitables et nombreux n'apparaissent que dans les filons spilitiques,
- pyroxènes et amphiboles n'apparaissent en nombre que dans les filons doléritiques.

+ les hornblendes brunes parfaitement automorphes, donc primaires, témoignent d'une cristallisation initiale de minéraux riches en éléments volatils . Cette cristallisation primaire de hornblende brune est souvent synchrone de celle des plagioclases et de l'augite.

+ Nous avons séparé de cet ensemble les lamprophyres (minettes et kersantites) du Valbonnais et du Vieux Chaillol qui, minéralogiquement et pétrographiquement sont très différents des roches de l'ensemble dolérito-spilitique, et représenteraient peut-être un épisode magmatique antérieur particulier .
Toutefois ce point devra être précisé par des études ultérieures sur le terrain.

+ Enfin la présence des " nodules de péridotites " dans le dyke de la Combe du Veyre laisse supposer un magma originel de type basaltique alcalin.

- 3 - CONCLUSIONS GENERALES A L'ETUDE MINERALOGIQUE ET PETROGRAPHIQUE DES LAVES ET DES FILONS.

Nous allons essayer de présenter de manière synthétique les principales observations effectuées sur les laves spilitiques et les filons basiques.

3.1.- COMPOSITION.

- Les roches effusives sont toutes de nature spilitique à paragénèse simple: feldspaths alcalins (albite-orthose)-chlorite-minéraux opaques et carbonates. Les variations sont essentiellement structurales mais peuvent concerner aussi la répartition des minéraux les plus courants et également la paragénèse où l'on peut voir apparaître: augite-quartz -épidote.
Les fantômes de péridots sont nombreux et très reconnaissables dans les spilites, qu'elles soient filoniennes ou effusives.

- Les roches filoniennes sont plus variées mais de deux types principaux :

Filons doléritiques	Filons spilitiques
Plagioclase	Plagioclase
orthose	orthose
augite	chlorite
amphiboles	minéraux opaques
chlorite	calcite
minéraux opaques	
apatite	

— Ces filons sont par ailleurs les seuls à contenir des fantômes de péridots reconnaissable

Sur le plan minéralogique, laves et filons ne présentent aucune différence notable si ce n'est la répartition des péridots. Toutefois l'absence de fantômes de péridots dans les dolérites peut s'expliquer par la cristallisation lente des filons permettant la fusion incongruente des péridots en pyroxènes, fusion qui ne serait pas réalisée dans les laves à cristallisation rapide. Les structures sont également très semblables, toutefois la structure microlitique fluidale n'est réalisée que dans les laves ou dans les faciès filoniens ayant débouchés à l'air libre (Dyke de la Combe du Veyre).

3.2.- GISEMENTS.

- Les Coulées spilitiques apparaissent interstratifiées dans des sédiments triasico-liasiques . Celles-ci sont mêlées aux faciès dolomitiques et brèchiques du Trias supérieur qui succèdent aux sédiments siliceux et carbonatés du Trias inférieur et moyen. Les coulées sont ensuite recouvertes par les dépôts calcaires du Lias inférieur.
Associés aux diverses coulées on note d'une façon générale des horizons intercalaires mixtes : volcano-sédimentaires et volcano-détritiques, ou des horizons intercalaires purement sédimentaires tels que : argilites-dolomies-calcaires (± magnésiens) et parfois pélites calcaires (sédimentation annonçant les faciès du Lias).
Ces coulées se sont mises en place dans un milieu marin ou lagunaire à faible tranche d'eau, et même pour les coulées supérieures de certains gisements (Beaufin,Vallon Long,Rouite) dans des conditions subaériennes .

- les filons basiques (doléritiques et spilitiques) ont cicatrisés les fractures du socle cristallin (gneiss, migmatites et granites du noyau).

Ces filons sont géographiquement très proches des coulées spilitiques et présentent deux orientations principales : N.S.dominant et N 70°.

Les divers types sont tous contemporains et se recoupent mutuellement, ils se présentent en amas profonds, en filons aveugles plus évolués ou en cheminées .

- A la lumière des travaux récents , il est intéressant de constater (Pl.I.53) que la plupart des gisements spilitiques étudiés semblent s'aligner sur les grands décrochements N.E -S.W (failles N 50°-70° reliées par des failles plus méridiennes N 10°-30°) à mouvement majeur senestre (GRATIER-LEJEUNE-VERGNE 1973).

A ces décrochements on pourrait donc associer un réseau de fissures d'extension N.S., cette direction correspondant précisément à l'orientation dominante des filons basiques du secteur étudié.

Par ailleurs on peut noter que la courbure des linéaments sédimentaires du massif des Ecrins-Pelvoux, auxquels sont associés les laves spilitiques, s'expliquerait par une rotation senestre du socle, résultant des mouvements différentiels des grands décrochements.

Les mesures paléomagnétiques effectuées sur les laves spilitiques incluses dans la couverture (WESTPHAL 1973) permettent de supposer que,dans cette rotation globale* la couverture aurait jouée, à la différence du socle, comme un tégument plastique .

3.3.- RELATIONS.

Le décollement généralisé de la couverture au niveau du Trias ne permet pas d'observer le passage direct complexe intrusif (assimilable à un réseau de dykes) - complexe effusif (laves spilitiques). Cela n'a, en fait ,rien d'étonnant car il est très rare, même dans le volcanisme actuel, de pouvoir relier un dyke à une coulée .

Toutefois cette relation ne fait aucun doute nous sommes bien en présence d'une association dolérites-spilites .

En effet, dans le réseau intrusif, on observe le passage continu entre filons doléritiques et filons spilitiques, et à l'inverse, certains gisements spilitiques (tels ceux du Beaumont) présentent des caractères franchement doléritiques .

3.4.- CARACTERES DE LA SPILITISATION.

Les mécanismes envisagés pour la genèse des spilites ne seront traités que dans la 3ème partie. Nous nous limiterons ici à résumer les principaux caractères observables de la spilitisation.

Celle-ci est essentiellement caractérisée par la présence de minéraux appartenant à deux paragenèses différentes.

- une paragenèse de haute température:péridots-augite titanifère-hornblende brune-apatite-spinelle-biotite-plagioclases.
- une paragenèse de basse température:feldspaths albitiques (péristérites-orthose-chlorite-carbonates-pyrite.

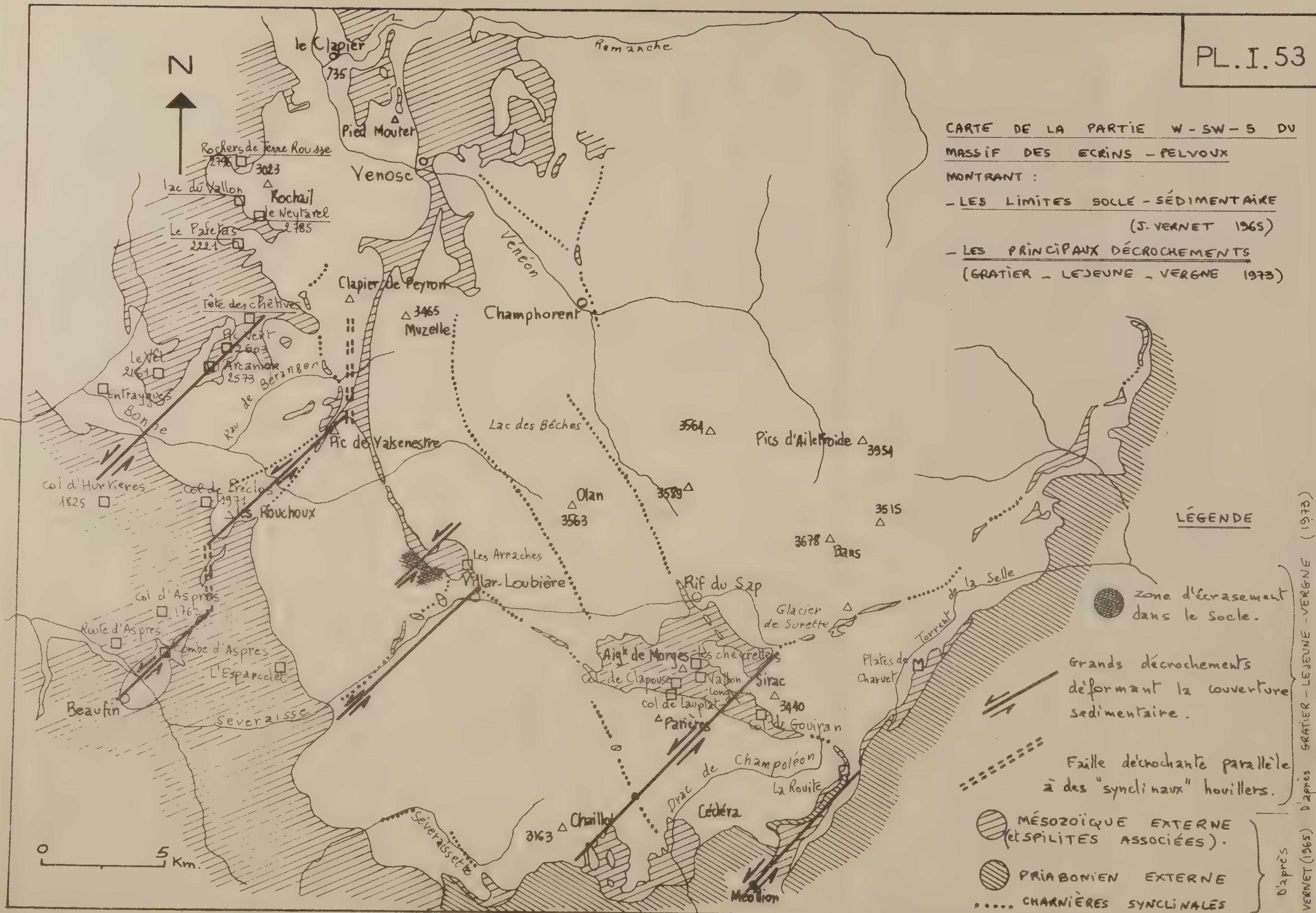
A une évolution magmatique classique on peut attribuer la cristallisation du péridot et sa transformation incongruente en pyroxène, et la cristallisation des apatites, de la magnétite et de l'ilménite; ensuite sous l'action des volatils dissous dans le liquide résiduel cristalliseront la hornblende, puis la biotite.

On obtient donc une paragenèse de haute température.

Toutes les autres transformations ou cristallisations, à n'importe quel stade qu'elles se placent: au cours de l'ascension du magma, de l'épanchement de la lave, ou dans un stade tout à fait ultérieur(lors du métamorphisme alpin par exemple), se sont produites ,sans aucun doute, sous l'influence des fluides CO_2 et H_2O ,dont le rôle principal est d'abaisser les températures de cristallisation.

---

*Rotation senestre de 30° à 45°, (Westphal. I973;).


PL. I. 53
CARTE DE LA PARTIE W - SW - S DU MASSIF DES ECRINS - PELVOUX
MONTRANT :
- LES LIMITES SOCLE - SÉDIMENTAIRE (J. VERNET 1965)
- LES PRINCIPAUX DÉCROCHEMENTS (GRATIER - LEJEUNE - VERGNE 1973)
LÉGENDE
zone d'écrasement dans le Socle.
Grands décrochements déformant la couverture sedimentaire.
Faille décrochante parallèle à des "synclinaux" houillers.
D'après GRATIER - LEJEUNE - VERGNE (1973)
MÉSOZOÏQUE EXTERNE (et SPILITES ASSOCIÉES).
PRIABONIEN EXTERNE
CHARNIÈRES SYNCLINALES
D'après VERNET (1965)
N
0
5 Km.
le Clapier
735
Romanche
Pied Moutet
Venosc
Vénéon
Champhorent
Rochers de Terre Rousse
3023
lac du Vallon
Rochail
le Neytarel
2785
Le Paletas
2221
Clapier de Peyron
3465
Muzelle
Tête des Chétives
Pic Vert
2603
Arcanier
2573
Le Vet
2161
Entraygues
Bonne
Rau de Béranger
Lac des Bêches
3564
Pics d'Ailefroide
3954
Pic de Valsenestre
Col d'Hurrieres
1825
Col de Preclos
1971
Les Rouchoux
Olan
3563
3589
3515
3678
Bans
Les Arraches
Villar-Loubière
Rif du Sap
la Selle
Glacier de Sorette
Torrent
Plates de Charvet
Col d'Aspres
1762
Route d'Aspres
Combe d'Aspres
L'Esparcelet
Beaufin
Severaisse
Aigle de Morges
les chevrettes
Col de Clapouse
Vallon Long
Sirac
3440
col de Lauplat
Parières
Col de Gouiran
Drac de Champoléon
La Rouite
Cédéra
Chaillol
3163
Séveraissette
Méollion

Cette influence peut se résumer de la façon suivante:

- plagioclases basiques ⟶ plagioclases acides.

Anorthite ⟶ en présence d'H_2O ⟶ albite pure (ESKOLA 1937)
+Na+Si+CO_2
$264° \leqslant t° \leqslant 331°$

- développement de l'orthose
- augite ⟶ par ouralitisation ⟶ hornblende brune ⟶ hornblende verte ⟶ trémolite-actinote ⟶ CHLORITE
- augite ⟶ altération directe en ⟶ CHLORITE
- biotite ⟶ CHLORITE
- oxydation des sulfures ⟶ limonites
- cristallisation des carbonates .

Dans tout l'ensemble filonien nous observons une continuité et une graduation dans la cristallisation des divers groupements , ainsi nous pouvons dire que les dolérites ophitiques représentent les termes les plus profonds et s'apparenteraient à un stade de différenciation précoce, alors que les dolérites à chlorite et les filons spilitiques s'apparenteraient au terme ultime de la différenciation le plus riche en éléments volatils .

On peut invoquer l'action des gaz volcaniques piégés et actifs (CO_2, H_2S) pour expliquer une partie de la calcite présente dans les coulées et dans les produits d'appareils volcaniques, tels que, l'aiguille Fourchée, et la Rouite,partie basale seulement; ainsi que la richesse en pyrite de certains filons.

3.5.-METAMORPHISME

Comme nous avons pu le montrer par l'étude de la cristallinité des micas (§ 1.2.2.1), les laves spilitiques et les filons basiques inclus dans les gneiss et migmatites du noyau ont été affectés par des recristallisations métamorphiques sous les conditions du faciès schistes verts supérieur (anchizone et limite supérieure de l'épizone:Pl.I.3I)

Ce métamorphisme, à caractère hydrothermal, représentant la Ière phase métamorphique alpine se développe donc dans le même " faciès" que la spilitisation, il est donc très difficile de faire la part de chaque phénomène puisque des minéraux identiques vont se retrouver dans deux phases distinctes .

Néanmoins on peut attribuer à ce métamorphisme les principales transformations suivantes :

- magnétite ⟶ hématite
- pyrite ⟶ limonites
- ilménite ⟶ leucoxène
- pyroxène ⟶ trémolite-actinote
- amphibole ⟶ chlorite
- feldspaths ⟶ séricitisation et kaolinisation.
- silicates calciques ferrifères ⟶ épidots.

à cela il faut ajouter les filonnets d'albite de néoformation, épidote, calcite et quartz.

3.6.- MAGMA ORIGINEL.

Les dolérites, puis les spilites issues des précédentes, représentent des produits déjà très différenciés par rapport au magma originel, de plus les processus hydrothermaux , prépondérants dans la spilitisation , ne clarifient pas la filiation. Néanmoins la présence de nodules de péridotites,remontés dans le dyke de la Combe du Veyre, parlent plutôt en faveur d'un magma originel basaltique alcalin.

D E U X I E M E P A R T I E

ETUDE GEOCHIMIQUE

Rédaction: G. BUFFET

1 - INTRODUCTION ET DEFINITIONS

1.1 - UNITES

Le tableau des analyses chimiques donné en annexe fait apparaître les compositions des échantillons analysés, mesurées en poids d'éléments contenus dans 100 g de roche. Le détail de la conversion, ainsi que les constantes utilisées sont présentés à la suite de ce tableau. L'unité "teneur en poids" a été choisie pour plusieurs raisons :

- La majorité des anlayses chimiques ont été effectuées au quantomètre du CRPG de Nancy (spectrométrie d'émission). La mesure physique est comparée à une gamme d'étalons eux-mêmes mesurés en g/100 g de roche puis convertis en oxydes. Notre calcul est l'inverse de cette conversion.

- Notre unité est directement comparable à un coefficient 10^4 près aux ppm poids, unité dans laquelle sont mesurés les éléments traces.

- Si l'on veut convertir nos données en milliatomes, il suffit de diviser notre unité par la masse atomique de l'élément considéré : on obtient alors le nombre d'atomes-grammes contenus dans 100 g de roche - nombre réél d'atomes, au facteur $\mathcal{N}$ près (nombre d'Avogadro) - que l'on multiplie ensuite par 10^3. Cette unité permet le calcul des proportions minéralogiques d'après les formules structurales des minéraux. Elle aurait été théoriquement préférable à la nôtre. Cependant, voulant retenir un repère de référence le plus étendu possible, nous tenions à faire entrer l'hydrogène et l'oxygène dans les représentations graphiques utilisées. Or l'hydrogène n'est pas dosé. Il est calculé à partir des quantités PF - CO_2 ou (H_2O^+ + H_2O^-) - CO_2 et de ce fait d'autres éléments volatils (Cl, F, S ...) sont pris en compte dans la mesure de l'hydrogène. Etant l'élément le plus léger il aurait pris beaucoup d'importance par rapport aux autres éléments, dans un système rapporté à des nombres d'atomes. Les erreurs dûes à l'imprécision de sa mesure se seraient retrouvées dilatées. Il en est de même pour l'oxygène qui n'est que le complément, au total de l'analyse, de la somme des autres éléments.

- En spectrométrie d'émission, le fer est entièrement dosé sous forme de Fe^{3+} : il est alors impossible de faire la part du Fe^{2+} et du Fe^{3+} dans la mesure. En revanche, il est toujours possible de convertir le % de FeO d'une analyse chimique par voie humide en % de Fe_2O_3 (le total de l'analyse est de ce fait modifié) puis de convertir la somme Fe_2O_3 total en Fe^{3+} total. Cette valeur est alors comparable à la conversion de Fe_2O_3 total en Fe^{3+} total du résultat des valeurs données par analyse quantomètrique.

Même si le choix de l'unité "teneur en poids d'un élément contenu dans 100 g de roche " est partiellement justifié, nous n'avons pas voulu lui accorder un crédit total. Ainsi avons nous limité son importance en utilisant, dans le calcul statistique multivariable sur lequel repose les conclusions de notre travail, une autre pondération de l'unité :

$$\frac{\text{teneur en poids d'un élément dans 100 g de roche}}{\text{écart type de l'élément sur la population étudiée (1)}}$$

1.2 - REMARQUES SUR LA REPRESENTATION GRAPHIQUE DE LA COMPOSITION CHIMIQUE DES ROCHES

Les diagrammes pétrographiques classiques utilisés par de nombreux auteurs (2) de travaux sur les roches à caractères spilitiques montrent toujours une dispersion extrême des points représentatifs des échantillons qui s'étalent largement sur les différents domaines des séries volcaniques simples. Les auteurs procèdent alors par élimination, en choisissant la (ou les) représentation(s) qui excluent un (ou plusieurs) modèle(s) de différenciation magmatique type. Trop souvent ce raisonnement s'arrête lorsqu'une solution unique peut être retenue. L'explication des différences ou des

---

(1) écart type (standard déviation) = $\sqrt{\text{Variance}}$

(2) AMSTUTZ (1956) ; JUTEAU, ROCCI (1966) ; FONTEILLES (1968) ; VAN OVEREEM (1968) ; VALLANCE (1969) ; CANN (1969) ; JUTEAU, LE FORT, VATIN PERIGNON (1972) ; HUGHE (1973) ; SAUPE (1973) .... etc.

dispersions du nuage des points représentatifs des spilites par rapport à l'évolution connue, conduit alors à l'élaboration d'une nouvelle hypothèse génétique.

Ce mode de raisonnement repose en fait sur la visualisation des distances graphiques entre les points représentatifs des échantillons. Une telle approche d'un problème, si elle convient pour interpréter des différenciations uniques, n'est plus rigoureuse dès que les évolutions sont multiples. Or un magma générateur de laves possède une composition chimique qui se modifie sous l'action d'au moins deux facteurs géologiques :

- la fusion partielle des roches du manteau supérieur
- la cristallisation fractionnée du liquide magmatique

Cette conception, issue du modèle de GREEN et RINGWOOD (1967), est déjà une simplification. Elle fait abstraction :

- d'une part des contaminations magmatiques par le choix d'un système thermodynamiquement fermé pour le premier stade,
- d'autre part des phases volatiles par le choix d'un système thermodynamiquement ouvert pour les stades tardifs de l'évolution.

Pour l'étude des roches spilitiques du Pelvoux nous ne voulons pas perdre de vue qu'il a pu y avoir apport ou départ de matière, et nous souhaitons dans les cas favorables estimer les quantités échangées. Ceci ne semble possible que par le choix d'une représentation graphique englobant le maximum d'éléments.

1.2.1 - PROPRIETES DE LA MEILLEURE REPRESENTATION GRAPHIQUE

Partant d'une composition initiale C. Celle-ci peut se représenter par un point (espace sans dimension) dans l'espace de référence le plus complet.

L'espace des compositions chimiques ayant une structure d'espace vectoriel, on peut associer au point C un vecteur de composantes proportionnelles aux unités de l'espace de référence. En théorie l'espace de référence devrait avoir avoir autant de dimensions que d'éléments chimiques naturels (p-dimensions). En pratique, du fait de leur abondance, 12 éléments suffisent

à décrire la composition de 100 g de roche. Donc p = 12. Pour les roches spilitiques ces 12 éléments seront :
Si, Al, Fe, Mg, Ca, Na, K, Ti, Mn, H, C, O, les éléments volatils tels que S, F, Cl ... entrent dans le poids de H et O, mais dans des proportions que nous avons supposées faibles.

Faisons intervenir sur le point C une transformation thermodynamique ; si l'échantillonnage représente différents états d'équilibres, le point C sera étiré en un nuage de points en fonction des paramètres intensifs (pression, température ...) du système.

- Si un seul paramètre intensif varie, l'étirement se fera suivant une courbe, sous espace à une dimension de l'espace de référence. Bien que les fonctions ne soient jamais linéaires on suppose à priori que le domaine des variations de ce paramètre d'état recouvert par l'échantillonnage, est suffisamment restreint pour résumer par une droite le champ de variation des paramètres extensifs (concentration, teneur en élément chimique ...). Dès lors, la meilleure représentation pour visualiser la différenciation sera la projection orthogonale des points du nuage sur la droite.

- Si deux paramètres intensifs influencent le système, le nuage s'étirera en une surface (sous espace à 2 dimensions) que l'on assimilera à un plan. La meilleure représentation sera la projection orthogonale des points du nuage sur le plan en question.

- Si trois paramètres interviennent, l'étirement du nuage se fera dans un espace à trois dimensions que l'on assimilera à un hyperplan (équivalent du plan dans un espace de plus de 3 dimensions). On projettera donc orthogonalement le nuage sur l'hyperplan et on visualisera la représentation par deux projections orthogonales sur deux plans orthogonaux conjugués de l'espace de référence.

Admettons maintenant que deux fonctions thermodynamiques différencient le nuage de points, la première étirant le point C dans un plan (deux paramètres), la seconde reprenant chaque point avant qu'il ait atteint

un état d'équilibre et l'étirant dans une seule direction (un seul paramètre) tous les points seront répartis dans un hyperplan à 3 dimensions de l'espace de référence.

Pour limiter la dispersion aléatoire dûe aux écarts analytiques on projettera orthogonalement le nuage sur cet hyperplan.

La meilleure représentation sera cet hyperplan.

Pour visualiser cette représentation on choisira deux plans de projection conjugués et orthogonaux.

Si de plus la deuxième transformation thermodynamique est indépendante de la première, le plan associé à la première est linéairement non corrélé à la direction d'étirement associée à la seconde. Ces deux directions seront orthogonales (mais la réciproque n'est pas vraie : ceci est une propriété de l'indépendance des caractères, mais non une condition nécessaire et suffisante). Le repèrage de cette représentation se fait dans une base vectorielle rectangulaire : on projette alors orthogonalement l'hyperplan sur deux des trois plans du triédre trirectangle associé à la base, en prenant soin de retenir le premier plan d'étirement dans la représentation. Les combinaisons linéaires de niveau 0 entre unités de l'espace de référence, associées aux directions de projection sont les équations des axes de cette représentation. Le calcul des coordonnées des points dans cette nouvelle base sera facilité par les techniques du calcul matriciel et l'application des propriétés des transformations linéaires.

1.2.2 - APPLICATION

Hypothèses de départ. Nous supposons que :

- l'unité 100 g de roche est une unité stable pour les produits finis représentés par l'échantillonnage.
- les transformations physicochimiques peuvent avoir des modèles mathématiques associés à des modèles linéaires sur le domaine échantillonné.
- les transformations sont indépendantes les unes des autres.
- que les écarts dûs aux erreurs analytiques et à l'instabilité de l'unité différencient moins le nuage que les transformations physicochimiques.

Dans ces conditions on recherche la droite d'inertie maximum du nuage, cette droite est orthogonale à la direction de projection la plus discriminante, correspondant à la combinaison linéaire de variance maximum, ou premier facteur au sens statistique du terme. Ce premier facteur (ou caractère de variance maximale) extrait, on recherche ensuite les caractères les plus variants sous la contrainte qu'ils soient linéairement non corrélés aux précédents. On extrait ainsi p facteurs expliquant 100 % de la variance du système. On ne retient que les m premiers facteurs, m est fixé dès qu'une explication satisfaisante de la variance est atteinte (80 à 90 %).

A ces m facteurs seront associés m axes qui pris deux à deux déterminent les plans sur lesquels on projette orthogonalement la meilleure représentation. Si nos hypothèses de départ sont exactes on doit pouvoir retrouver dans cette représentation le (ou les) caractère(s) de chaque différenciation.

Si les transformations s'avèrent dépendantes, on aura quand même la meilleure représentation de la transformation globale mais le raisonnement interprétatif n'est alors que qualitatif pour les variations discriminées par les facteurs autres que le premier. Cette technique de recherche de la meilleure représentation est l'analyse en composantes principales (ACP) ou Analyse factorielle. Cette technique a été utilisée pour la première fois sur un matériel magmatique par MANSON (1967), et est maintenant d'un usage courant en géologie. Nous ne citerons ici que deux des plus récentes applications : KARPOFF (1973) où sont résumés les aspects mathématiques de l'ACP et BESSON (1973) (1).

1.2.3 - CONSEQUENCES SUR L'ORIENTATION DE L'ETUDE GEOCHIMIQUE

Les remarques précédentes et les difficultés rencontrées par les chercheurs s'intéressant aux problèmes posés par les roches spilitiques pour trouver une représentation pleinement satisfaisante (par exemple : SAUPE (1973) p.124) permettent de justifier l'absence de diagrammes de représentation géochimique classique dans notre travail.

---

(1) Nous avons résumé l'aspect géométrique de l'analyse factorielle et de diverses techniques statistiques multivariables dans le N° 24 de la série documentation (1973) de l'Institut Dolomieu.

Ne voulant pas perdre de vue qu'au cours du phénomène de spilitisation il peut y avoir, à tous les stades d'évolution, apport ou départ de matière, nous avons jugé bon d'écarter différentes représentations :

a) les diagrammes dans lesquels figurent des paramètres non linéaires qui supposent à priori des modèles simplifiés, s'appliquant certes à des séries volcaniques, mais pas forcément aux séries spilitiques qui sont manifestement plus complexes. A cette catégorie appartiennent les paramètres de NIGGLI (1952) ; paramètres RetS de JUNG, MICHEL et BROUSSE (1956) ; paramètres de BROUSSE (1961), les diagrammes triangulaires ACF A'KF..., ceux de PEACOK (1931), etc ...

Pour quelques séries volcaniques, certains de ces paramètres peuvent être assimilés à des combinaisons linéaires, ainsi

$S = 100\ K_2O/(Na_2O + K_2O)$ qui devient linéaire si la somme $(K_2O + Na_2O)$ peut être assimilée à une constante sur la population étudiée, nous verrons plus loin que (K + Na) est une fonction linéaire et croissante de K. L'assimiler à une fonction constante risque d'entraîner une très grande incertitude sur les unités du repère de référence (l'unité représente la valeur S = 1) lorsqu'il s'agit de projeter sur un même diagramme une série spilitique et une série calcoalcaline - type pour laquelle la représentation a été mise au point. Dans les cas défavorables, cette incertitude à elle seule est susceptible d'expliquer la dispersion des points autour d'une courbe moyenne.

Dans les diagrammes triangulaires, les risques de dispersion peuvent se cumuler ; car même si les paramètres utilisés sont linéaires, leur somme n'est qu'exceptionnellement constante pour les populations représentées habituellement et la représentation nécessite une transformation non linéaire des paramètres :

$$\text{variable 1} = \frac{\text{paramètre 1}}{\text{somme des trois paramètres}}$$

b) les représentations à paramètres linéaires mais très anisotropes vis à vis de la distance entre deux points :

- lorsque les paramètres sont des combinaisons linéaires unitaires, la distance de la direction de projection de niveau 1 au centre du repère de référence est égale à la longueur du vecteur unitaire porté par chaque axe.

- deux combinaisons linéaires seront linéairement non corrélées si les projections associées sont orthogonales. Dans le cas contraire, l'angle entre les directions de projection à un cosinus égal au coefficient de corrélation (Pl III)

Si le repère de référence est orthonormé et que l'on fixe, la représentation simplifiée, à deux paramètres unitaires et non corrélés entre eux, cette représentation résultera de la projection orthogonale de l'espace de référence sur le plan repéré par la base orthonormée définie par les valeurs 1 des deux paramètres. Si une seule de ces projections suffit à visualiser toutes les différenciations les distances seront isotropes (elles auront même valeur dans toutes les directions de la représentation).

Si trois projections suffisent à visualiser la représentation la distance sera calculée à partir des trois projections par la formule :

$$d = \sqrt{d_1^2 + d_2^2 + d_3^2}$$

Exemples :

a) <u>diagramme Al/3 - K (axe 1) ; Al/3 - Na (axe 2) de H.de la ROCHE (1963)</u> = unité sur l'axe 1 ($= \sqrt{1/9 + 1}$)

= unité sur l'axe 2 ($= \sqrt{1/9 + 1}$) : le repère est normé

Correlation : $\cos(1,2) = \dfrac{(1/3Al - 1K)(1/3Al - 1Na)}{\sqrt{1/9 + 1}} = \dfrac{(1/9Al + OK + ONa)}{\sqrt{1/9 + 1}} = 0,1$

d'où (1,2) = 86° : corrélation négligeable.

b) <u>diagramme Si/3 - (K + Na + 2/3Ca)(Axe 1) ; K - (Na + Ca)(Axe 2) de H.de la ROCHE (1968)</u> :

- unité sur l'axe 1 = $\sqrt{1/9 + 1 + 1 + 1\frac{4}{9}} = 1,41$
- unité sur l'axe 2 = $\sqrt{1 + 1 + 1} = 1,73$

La projection représentée est sensiblement anisotrope.

En prenant comme unité sur l'axe 2: $\frac{1,41}{1,73}$ et en gardant l'unité de l'axe 1, la représentation serait normée.

Dans ce cas l'angle entre les axes devrait être de 67° pour que la projection à partir d'un repère orthonormé soit isotrope.

CAS PARTICULIER DES REPRESENTATIONS A 2 ELEMENTS

PL.II.1

- un diagramme (K, Ca) est le cas particulier où les paramètres K et Ca sont les combinaisons linéaires particulières de la forme générale :

$a_1Si + a_2Al + a_3Fe + a_4Mg + a_5Ca + a_6Na + a_7K + a_8Ti + a_9Mn + a_{10}H + a_{11}C + a_{12}O$

dans lesquelles pour :

(1) K $a_7 = 1$ tous les autres coefficients sont nuls

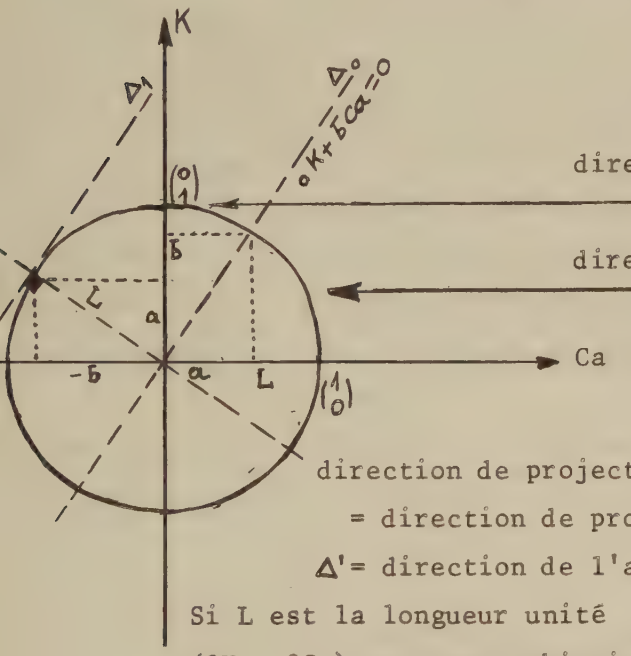
(2) Ca $a_5 = 1$ tous les autres coefficients sont nuls

Le plan de représentation est le plan repéré par les deux vecteurs K et Ca du repère de référence,

La direction de projection associée à la combinaison linéaire(1)=direction de Ca

La direction de projection associée à la combinaison linéaire(2)=direction de K

Ces deux combinaisons linéaires étant unitaires, la base vectorielle orthonormée $\{(1;0) ; (0;1)\}$ coïncide avec la base du repère de l'espace de référence.



direction de projection de K de niveau 1

direction de projection de K de niveau 1/2

direction de projection de Ca de niveau 1
= direction de projection de aK + bCa = 0

Δ' = direction de l'axe sur lequel on mesure le niveau de aK + bCa

Si L est la longueur unité aK + bCa = 1 en A si $\sqrt{a^2 + b^2} = 1$

(3K - 2Ca) est une combinaison linéaire non unitaire (1) dans l'espace de référence repéré par la base $\begin{cases} K = \binom{0}{1} \\ Ca = \binom{1}{0} \end{cases}$ car $\sqrt{3^2 + (-2)^2} = 3,6$

0,83K - 0,55Ca est le caractère (2) unitaire et parfaitement corrélé à (1) (même direction de projection).

$\frac{1}{0,83}K + \frac{1}{0,55}Ca$ (3) est un caractère orthogonal à (1) et à (2)

$\frac{1}{0,83 \times 2,16}K + \frac{1}{0,55 \times 2,16}Ca = \frac{1}{1,8}K + \frac{1}{1,2}Ca$ (4) est le caractère unitaire orthogonal à (2).

Compte tenu de ces considérations, et grâce au nombre important de données chimiques dont nous disposons sur l'ensemble volcanique basique du Pelvoux, nous établirons nos conclusions à la suite d'une étude géochimique essentiellement statistique.

Nous présenterons successivement les données synthétiques suivant les aspects de la statistique mono - bi ou multivariable.

Les quelques diagrammes pétrochimiques classiques utilisés serviront à illustrer et à guider l'interprétation des représentations plus rigoureuses issues de l'analyse factorielle.

CARACTERISTIQUES GEOCHIMIQUES DES ELEMENTS DOSES (1)

2.1 - TABLEAUX DES MOYENNES

2.1.1 - Tableau des compositions chimiques moyennes des groupes basaltiques correspondant à des roches susceptibles de contenir de l'olivine.

	1	2	3	4	5	6	7
	.82	48	247	41			1996
	22,6 ± 0,9	22,6 ± 0,7	22,6 ± 0,8	22,8 ± 1,0	23,3	22,7	23,0 ± 1,5
	8,2 ± 1,1	8,1 ± 0,9	8,5 ± 1,0	8,6 ± 1,2	8,6	7,9	8,4 ± 1,1
	8,9 ± 1,1	8,8 ± 1,2	8,4 ± 1,1	8,5 ± 2,1	8,2	8,8	8,3 ± 1,4
	5,1 ± 1,3	4,7 ± 1,4	4,0 ± 1,0	3,8 ± 1,1	3,8	4,3	4,0 ± 1,3
	7,3 ± 1,0	7,0 ± 1,0	7,0 ± 1,1	6,9 ± 1,0	7,0	7,5	7,1 ± 1,0
	1,7 ± 0,4	1,7 ± 0,4	2,2 ± 0,4	2,27± 0,50	2,1	1,8	2,0 ± 0,6
	0,53± 0,31	0,73± 0,42	0,85± 0,44	0,86± 0,50	0,9	0,66	0,83± 0,54
	1,04± 0,5	0,79± 0,42	1,32± 0,77	1,04± 0,55	0,95	1,56	1,14± 0,61
	0,13± 0,07	0,13± 0,11	0,13± 0,07	0,13± 0,07	0,13	0,13	0,15± 0,07
	0,10± 0,08	0,12± 0,10	0,10± 0,08	0,27± 0,08	0,11	0,09	0,10± 0,08

- Les analyses moyennes on été recalculées en teneurs en poids d'élément d'après les données de MANSON (1967)

1) Basaltes tholéïtiques à olivine normative
2) Dolérites tholéïtiques à olivine normative
3) Basaltes alcalins à olivine
4) Dolérites alcalines à olivine
5) Basaltes continentaux
6) Basaltes océaniques
7) Tous les basaltes

n = nombre d'échantillons

(1) La fourchette : valeur moyenne ± écart type englobe 67 % des analyses si la distribution est gaussienne.

2.1.2 - Tableau des teneurs moyennes en poids d'éléments majeurs contenus dans 100 g de roche (1) pour le cortège dolérito-spilitique des Ecrins-Pelvoux.

	1	2	3	4	5	6	1 + 6
n	128					82	210
Si	21,5 ±1,5					21,9 ±1,6	21,8 ±1,6
Al	8,3 ±0,7					8,0 ±0,8	8,2 ±0,8
Fe	8,20±1,45					8,1 ±1,2	8,2 ±1,5
Mg	4,0 ±1,3					4,3 ±1,2	4,0 ±1,3
Ca	3,3 ±2,00	(2) 72 5,3 ±0,7	(2) 14 5,47±0,41	(2) 18 3,9 ±1,4	(2) 32 4,9 ±2,7	5,05±1,84	4,0 ±2,1
Na	2,7 ±1,2					2,2 ±0,8	2,4 ±1,2
K	2,1 ±2,0	(2) 72 1,1 ±0,5	(2) 14 1,67±1,15	(2) 18 1,5 ±1,2	(2) 32 1,4 ±1,5	1,7 ±1,2	2,2 ±2,0
Ti	1,2 ±0,2					1,2 ±0,3	1,2 ±0,3
Mn	0,09±0,05					0,16±0,08	0,12±0,08
H	0,46±0,11	55 0,30±0,12	8 0,30±0,09	15 0,4 ±0,2	28 0,35±0,1	0,32±0,12	0,40±0,15
C	0,66±0,63	55 0,38±0,36	8 0,33±0,09	15 0,35±0,15	28 0,92±0,92	0,57±0,66	0,62±0,64
O	47,1 ±1,11					46,1 ±1,10	46,7 ±1,20
TOTAL	99,6					99,7	99,7

1 - Toutes les laves

2 - Dolérites porphyriques + dolérites s.str. + dolérites ophitiques + dolérites microcristallines à amphiboles

3 - Dolérites porphyriques seules

4 - Dolérites à chlorite seules

5 - Filons spilitiques

6 - Tous les filons (hormis les kersantites et les minettes)

1 + 6 - Cortège dolérito-spilitique des Ecrins - Pelvoux.

n = nombre d'échantillons

---

(1) La fourchette : valeur moyenne ± écart type englobe 67 % des analyses si la distribution est gaussienne.

(2) Y compris les analyses partielles par fluorescence X effectuées au laboratoire de radiocristallographie de l'Institut Dolomieu.

2.1.3 - Tableau des teneurs moyennes en poids d'éléments traces (en ppm) (1) pour le cortège dolérito-spilitique des Ecrins-Pelvoux.

	1	2	3	4	5	6	1 + 6
n	61					17	78
Ba	204 ± 220					205 ± 126	204 ± 203
Co	44 ± 18					37 ± 7	43 ± 17
Cr	380 ± 188					420 ± 80	368 ± 65
Cu	54 ± 90					110 ± 75	66 ± 90
Ni	353 ± 124					510 ± 139	353 ± 124
V	188 ± 43					170 ± 27	184 ± 40
Li	95 ± 47					116 ± 60	100 ± 51
n	(2) 145	(2) 81	(2) 14	(2) 18	(2) 28	(2) 127	(2) 272
Rb	98 ± 112	76 ± 36	114 ± 52	85 ± 60	88 ± 80	75 ± 55	87 ± 82
Sr	232 ± 138	350 ± 84	346 ± 38	250 ± 133	258 ± 139	312 ± 115	269 ± 143

(1) (signification des valeurs : voir tableau précédent)

Le classement des éléments majeurs suivant les rapports $\frac{\sigma}{m}$ (coefficient de variation) croissants donne la succession suivante :

O, Si, Al, Fe, Ti, Mg, H, Na, Ca, Mn, K, C

Un élément invariant peut être soit un élément inerte vis à vis de toutes les transformations envisageables, soit un élément traduisant un état d'équilibre atteint au cours de la dernière transformation, mais indépendamment des autres transformations.

- Eléments peu variants

1) Oxygène. Comme nous l'avons déjà souligné O n'est pas un élément dosé, mais un élément calculé, fonction de la somme des autres éléments. Si l'on admet le concept de la cellule de BARTH (1956) le faible écart relatif de O est un indice important de la stabilité de l'unité "100 g de roche".

2) Si, Al, Fe et Ti sont considérés comme des éléments peu variants. En effet la comparaison de leurs valeurs respectives entre les tableaux précédents traduit la grande ressemblance de notre cortège volcanique basique avec les roches basaltiques. Ceci confirme les observations pétrographiques relatives à la présence de "fantômes" de péridots.

Il serait cependant prématuré de préciser d'avantage cette ressemblance. Les histogrammes de fréquences permettent de le faire d'une manière plus rigoureuse.

2.2 - HISTOGRAMMES DES FREQUENCES DES ELEMENTS DOSES (cf.P1 II 2 à II 14)

2.3 - CORRELATIONS ENTRE ELEMENTS

2.3.1 - ENSEMBLES DE REFERENCE

Nous avons calculé les coefficients de corrélation linéaires des éléments dosés pris deux à deux. Sur les différents ensembles pétrographiques suivants :

- laves seules ; éléments majeurs = Analyse L (comme Laves)
  ; éléments majeurs et éléments traces = Analyse L'
- filons à affinités doléritiques seuls :
  éléments majeurs = Analyse D (comme dolérites)
  éléments majeurs et éléments traces = Analyse D'
- filons (D) + Kersantites et minettes (éléments majeurs) = Analyse F (comme filons)
- laves (L) + filons (D) = analyse DS (comme dolérites et spilites)
- laves (L') + filons (D') = analyse (DS)'

2.3.2 - PRESENTATION DES RESULTATS

Les résultats sont présentés sous différentes formes :

- Matrice symétrique des coefficients (r) de corrélation
- Analyse de grappes simplifiée pour les corrélations positives et négatives.
- Illustration synthétique des corrélations positives et négatives d'un ensemble donné.

2.3.2.1 - ANALYSE DE GRAPPES SIMPLIFIEE

Pour la matrice de corrélation d'un ensemble pétrographique donné, nous avons classé les coefficients de corrélation par valeurs décroissantes pour les corrélations positives et croissantes pour les corrélations négatives.

Les regroupements successifs sont ensuite effectués suivant l'ordre de ce classement. Chaque groupe est ordonné de la gauche vers la droite sur un axe de la représentation. Lorsqu'un élément isolé est à

rattacher à un autre élément déjà regroupé, il sera juxtaposé à ce groupe du côté de l'élément auquel il est corrélé.

Dans le cas du regroupement de deux éléments déjà présents dans deux grappes distinctes, nous pouvons éventuellement "retourner" ou inverser, sans changer l'ordre interne, l'une ou l'autre des deux grappes afin de conserver au mieux la proximité des éléments en question.

Une fois les éléments de l'ensemble des caractères chimiques tous regroupés on lit leur classification qualitative sur l'axe principal de la représentation, et on visualise la qualité de l'affinité réciproque des éléments par projection de l'accolade de regroupement sur l'axe des coefficients de similarité.

Dans cette étude nous considérons à priori que les regroupements compris entre r = 1 et r = 0,6 sont représentatifs des affinités chimiques. Cette affinité devient plus complexe jusqu'à 0,4, valeur au-dessous de laquelle les corrélations linéaires sont considérées comme très faibles, voir nulles.

2.3.2.2 - ILLUSTRATIONS SYNTHETIQUES

Volontairement nous utilisons le mot illustration et non représentation pour les figures circulaires des planches II 14 à II 17 car il s'agit d'une visualisation très grossièrement qualitative permettant de mettre en évidence les principales affinités, oppositions ou indépendances, entre éléments chimiques.

Des techniques de la statistique multivariable plus fines mais mathématiquement assez complexes auraient pu nous apporter une représentation plus rigoureuse.

Nous discuterons l'opportunité de ces techniques après la présentation de la méthodologie de notre illustration :

- Dans un cercle on oppose diamétralement les deux éléments les plus corrélés négativement.

A ces deux éléments sont associés respectivement les éléments les mieux corrélés positivement.

Si deux groupes d'éléments s'opposent à un même sous ensemble, ils apparaissent aux extrémités de la base d'un triangle isocèle inscrit dans le cercle. On s'efforce de les rapprocher d'autant mieux qu'ils

présentent des corrélations positives résultantes entre eux.

Si deux types d'oppositions apparaissent sur les dendrogrammes hiérarchiques de corrélations négatives sans entraîner de corrélations positives significatives, les quatre groupes apparaissent aux sommets d'un carré inscrit dans le cercle.

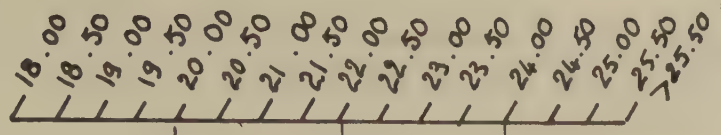
En dernier lieu nous avons essayé de mettre en évidence au centre du cercle, éventuellement sur un cercle concentrique plus petit, les éléments indépendants de ces principaux groupes.

Dans la représentation graphique de l'analyse factorielle les projections des variables sur les plans des axes, pris deux à deux, peuvent s'interpréter de la même façon que sur cette illustration, mais alors ce sont les projections d'une "représentation circulaire multidimensionnelle".

Nous aurions pu adapter nos données pour effectuer une analyse des correspondances entre deux partitions. Cependant, malgré un effectif total de près de 300 analyses chimiques, aucune partition géographique, gîtologique, pétrographique ... ne nous paraît cohérente, sur le plan de la théorie de l'échantillonnage, pour tenter des analyses statistiques fines sur des roches dont on ne peut estimer les masses, les volumes, la géométrie initiale ...

Une analyse canonique aurait pu éventuellement nous donner une représentation intéressante des affinités chimiques entre les éléments dosés à partir de notre échantillonnage, mais l'application de cette méthode mathématiquement plus complexe que l'analyse factorielle n'a pas été abordée dans cette étude.

SILICIUM | PL. II 2



Si en grammes/100 g de Roche

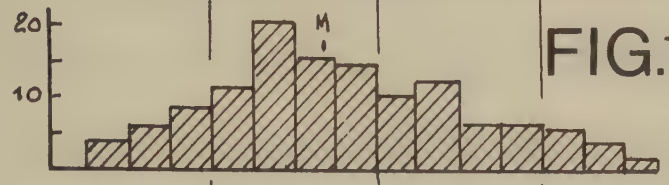


FIG.1 — 126 laves spilitiques

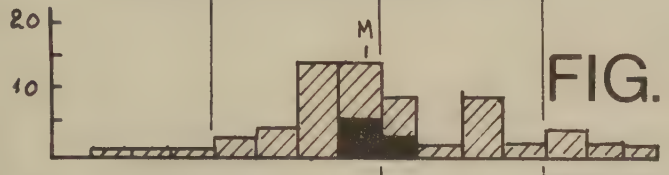


FIG.2. — 62 dolérites dont 8 dolérites porphyriques

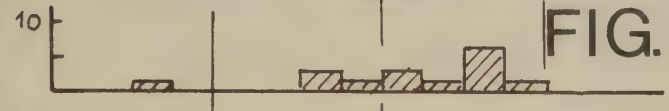


FIG.3 — 18 dolérites à chlorite

FIG.4. — 31 spilites en filon.

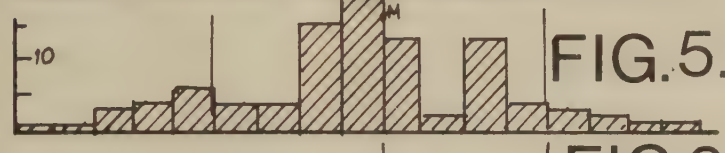


FIG.5. — 108 filons dolérito-spilitiques.

FIG.6. — 23 kersantites et minettes

Histogrammes des fréquences du silicium.

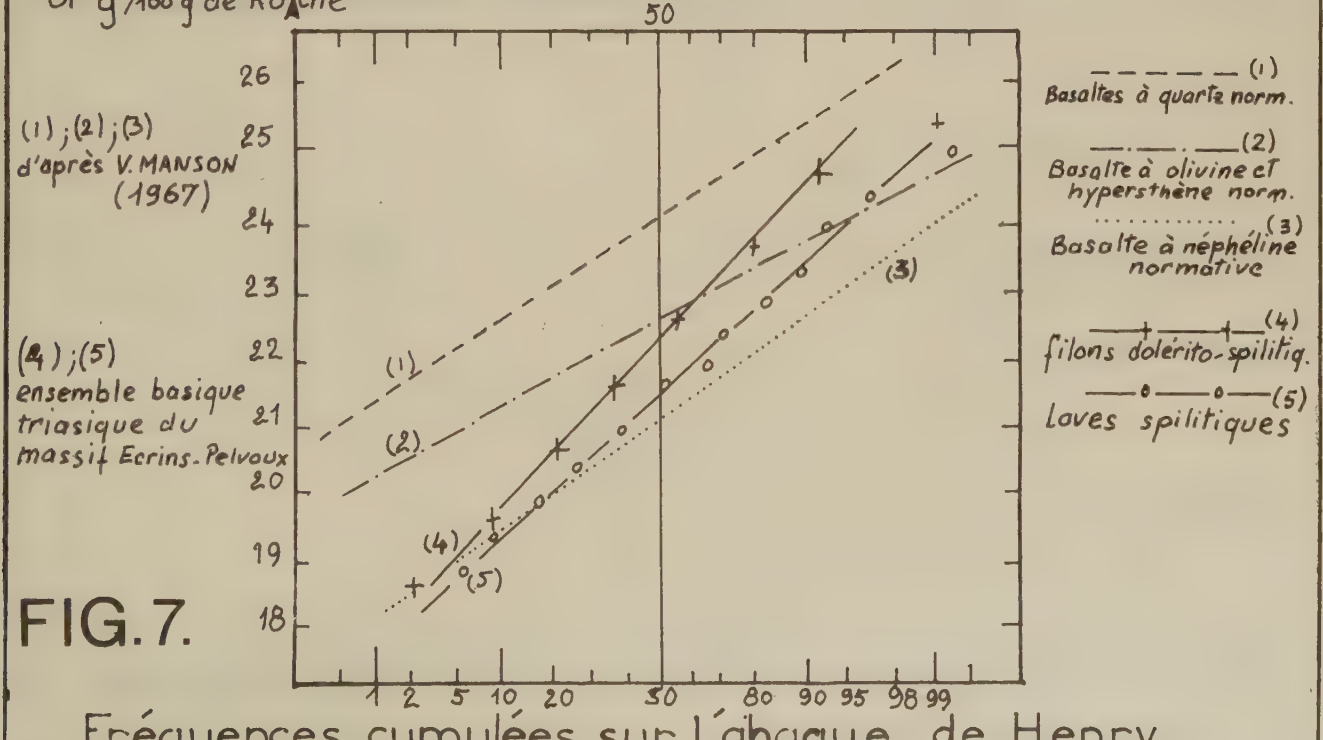
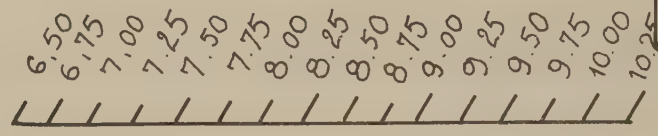


FIG.7.

Fréquences cumulées sur l'abaque de Henry.

ALUMINIUM | PL.II 3



Al en g/100g de roche.

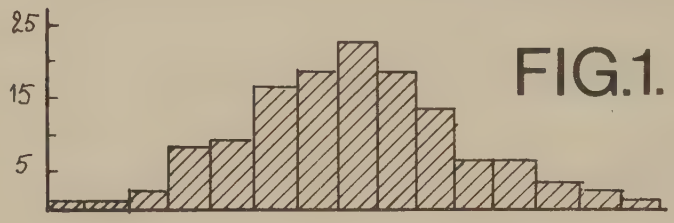


FIG.1. 126 laves spilitiques

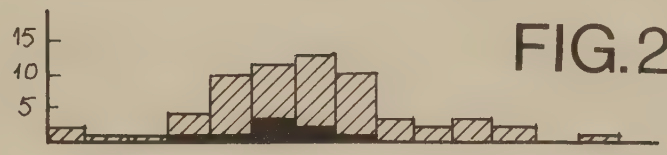


FIG.2. 62 dolérites en filons dont 8 porphyriques ■

FIG.3. 15 dolérites à chlorite.

FIG.4. 31 spilites en filons

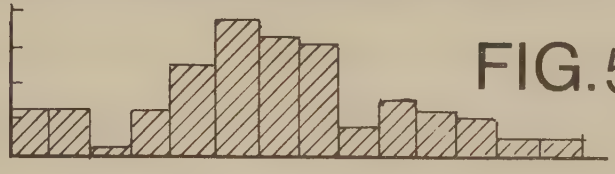


FIG.5. 108 filons dolérito-spilitiques

FIG.6. 23 kersantites et minettes.

Histogrammes des fréquences de l'aluminium

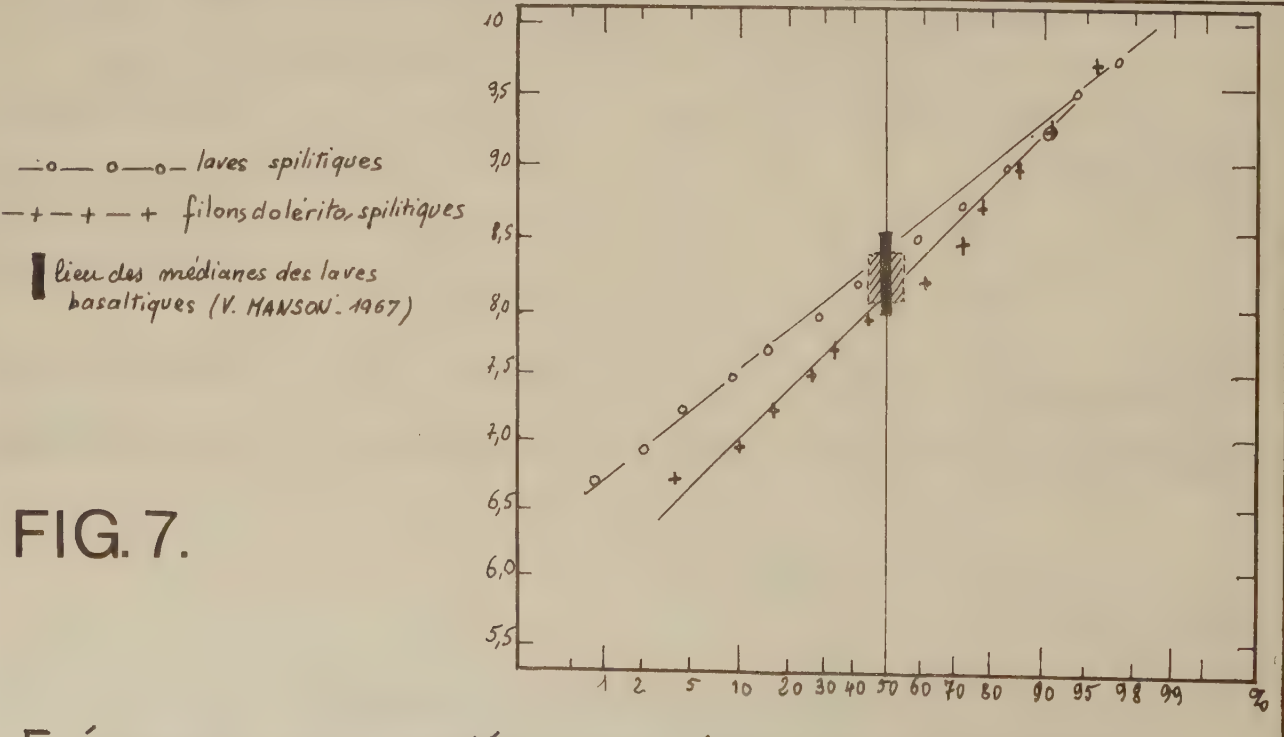
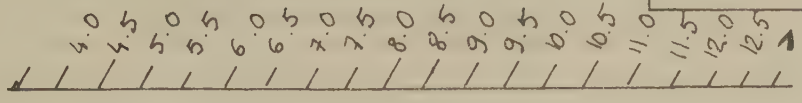


FIG. 7.

Fréquences cumulées sur l'abaque de Henry

FER (Fe^{3+} total) | PL II 4



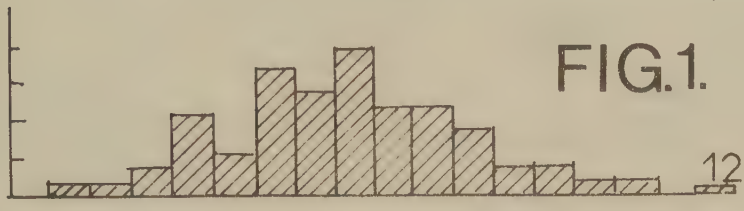


FIG.1. 126 laves spilitiques

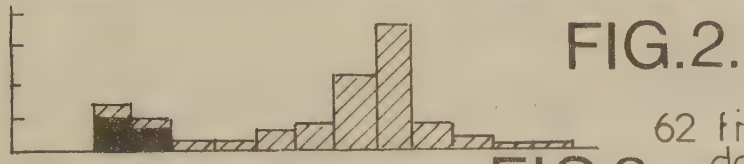


FIG.2. 62 filons doléritiques dont 8 porphyriques

FIG.3. 15 dolérites à chorite

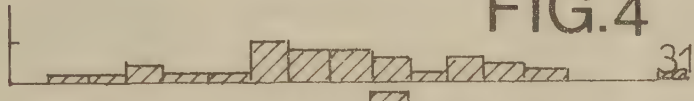


FIG.4 31 filons spilitiques

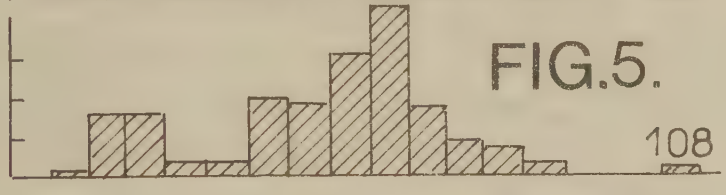


FIG.5. 108 filons dolérito/spilitiques

FIG.6. 23 kersantites et minettes

Histogrammes des féquences de Fe^{3+} total

+ filons dolérito/spilitiques

o laves

x kersantites et minettes

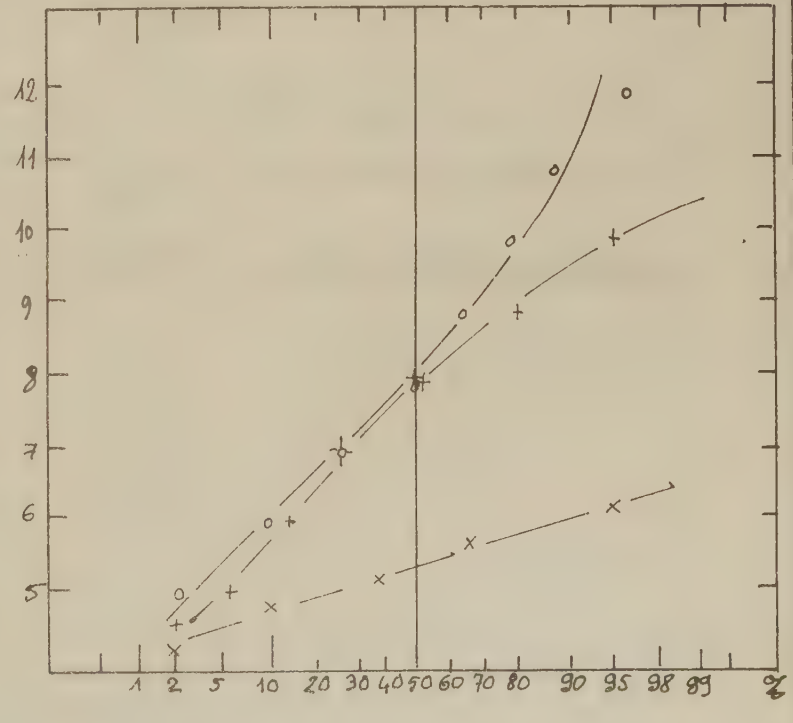
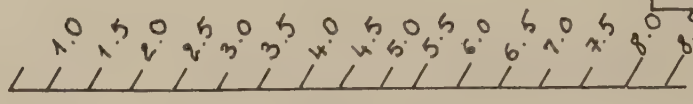


FIG.7.

Fréqences cumulées sur l'abaque de Henry

MAGNESIUM | PL II . 5



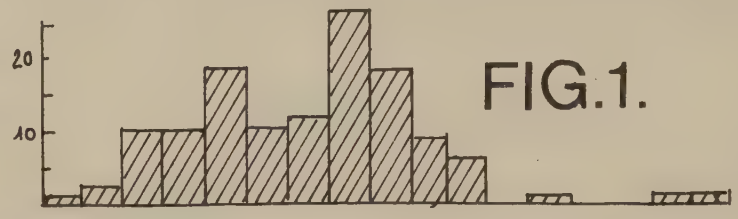


FIG.1. 126 laves spilitiques

FIG.2. 62 filons doléritiques dont 8 porphyriques ■

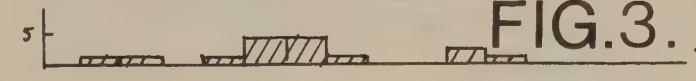


FIG.3. 15 dolérites à chlorite

FIG.4. 31 filons spilitiques

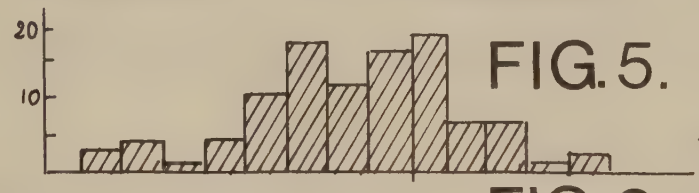


FIG.5. 108 filons doléritos/spilitiques

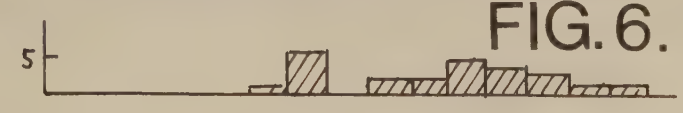


FIG.6. 23 kersantites et minettes

Histogrammes des fréquences du magnésium

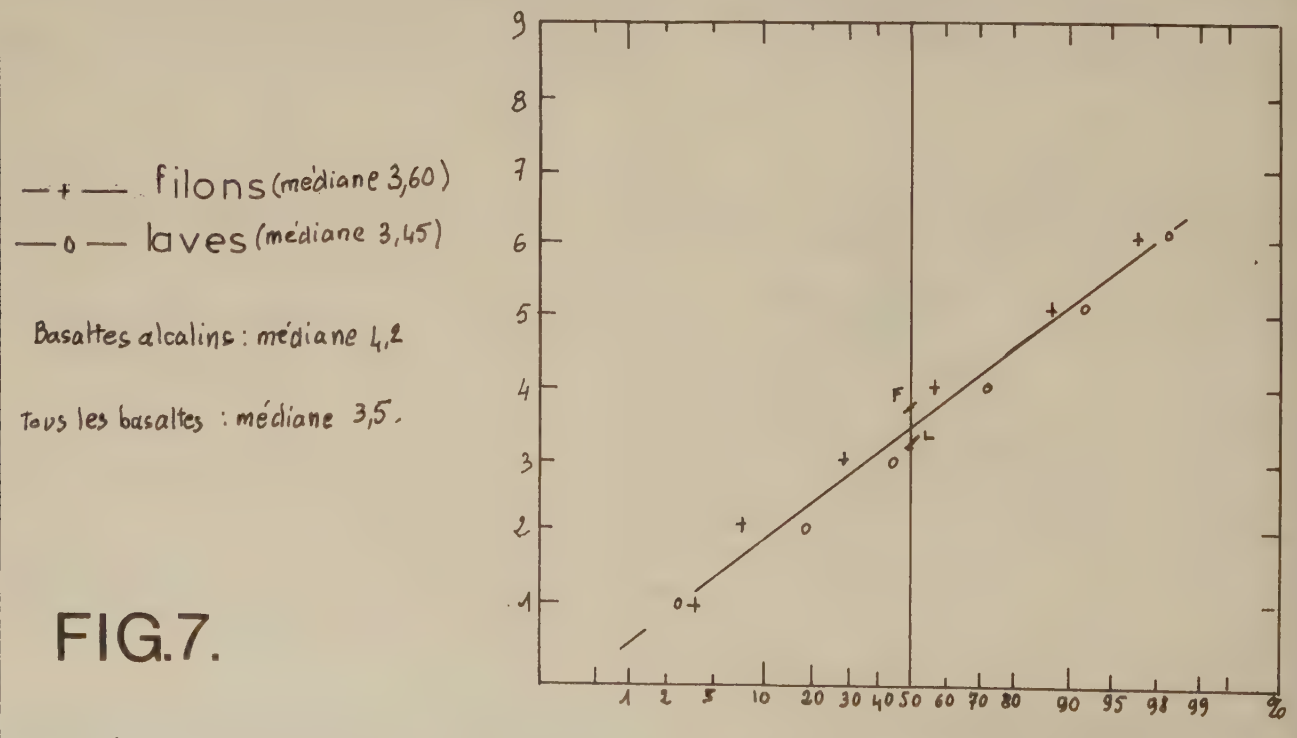


FIG.7.

Fréquences cumulées sur l'abaque de Henry

CALCIUM | PL II.6

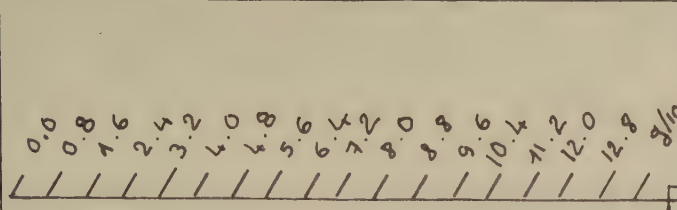
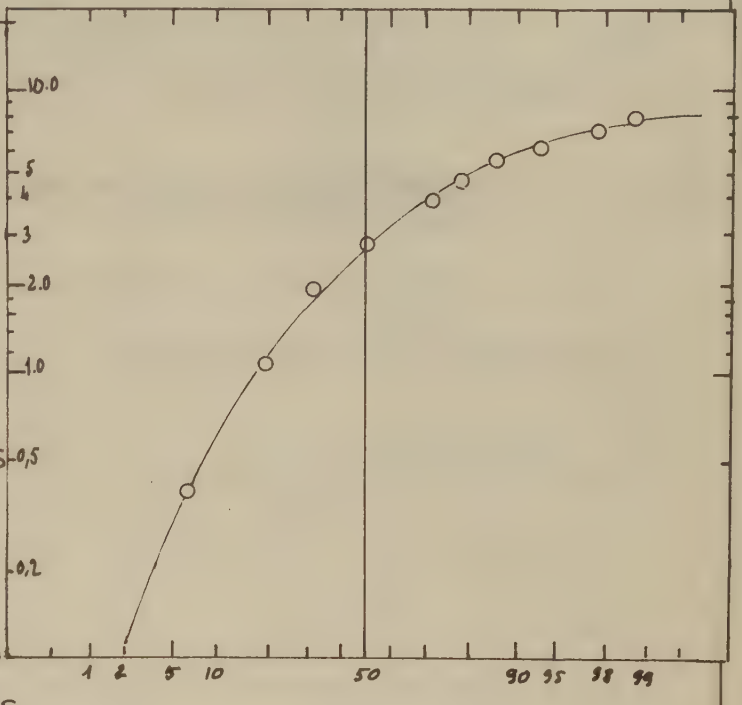
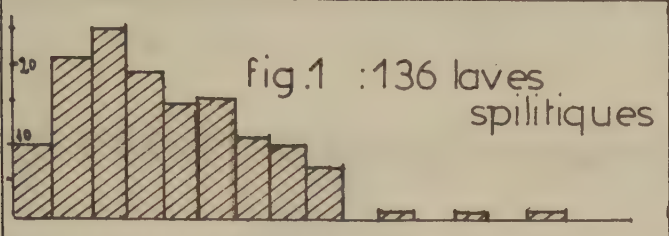
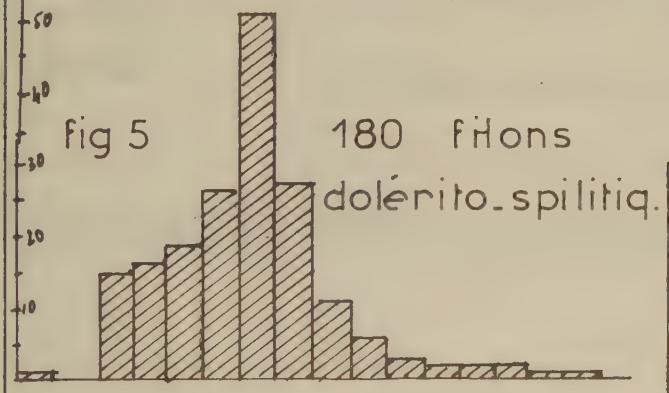


fig 7: laves (abaque lognorm.)







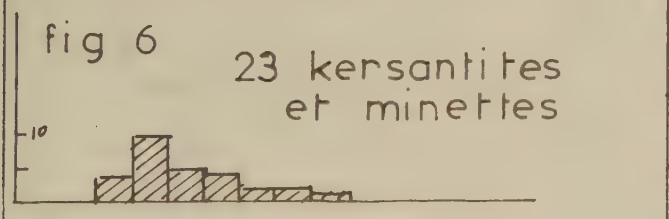
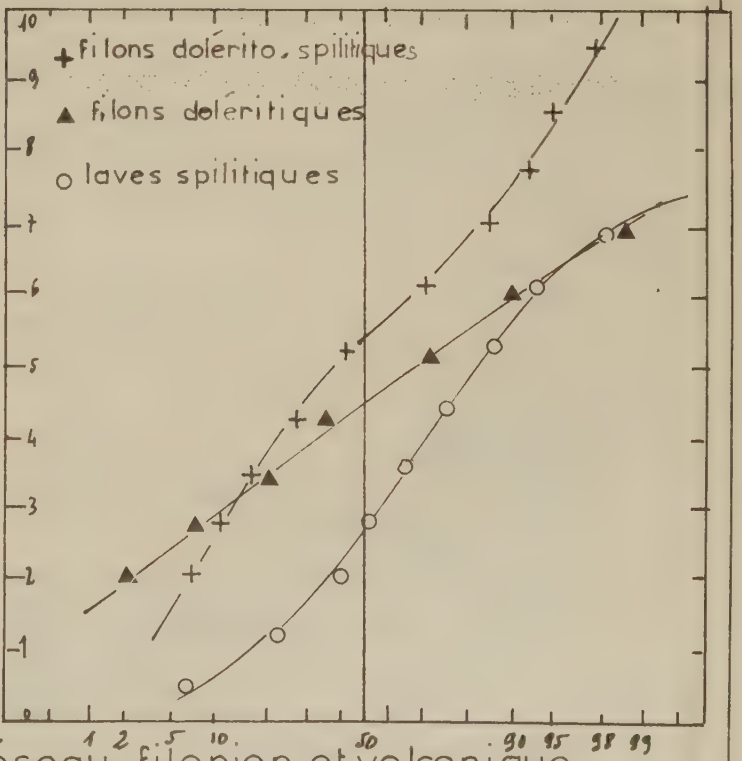
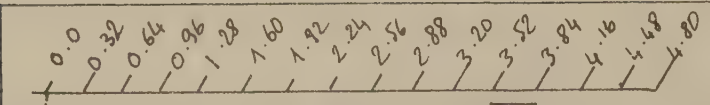


fig. 8 abaque de Henry



Fréquences de Ca dans le réseau filonien et volcanique basique du Massif des Ecrins - Pelvoux -

SODIUM & POTASSIUM | PL II.7



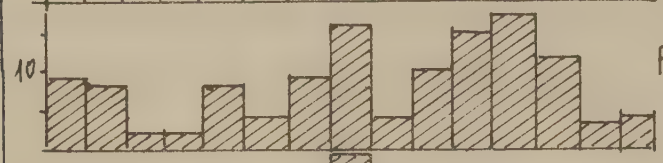


fig 1 — 120 laves spilitiques

fig 2 62 filons doléritiques dont 8 porphyriques

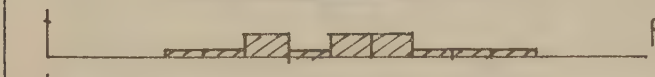
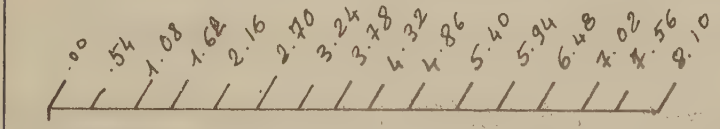


fig 3 15 dolérites à chlorite.

fig 4 31 filons spilitiques.

fig 5 23 kersantites et minettes

Fréquences de Na



médianes MANSON 1967 :

basalte à q.	0.37
tholéiite à ol.	0.54
dolérite à ol.	0.52
basalte alc. ol.	0.87
dol. alc à ol.	1.37

fig 6 136 laves spilitiques

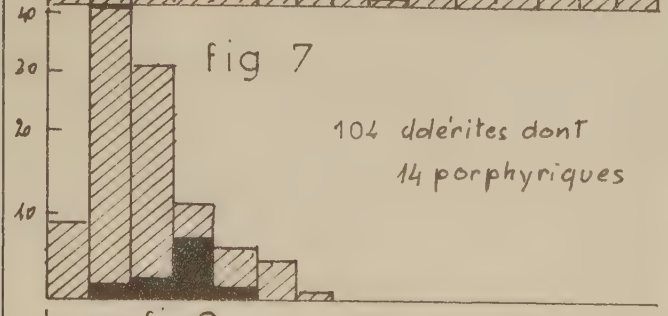


fig 7 — 104 dolérites dont 14 porphyriques

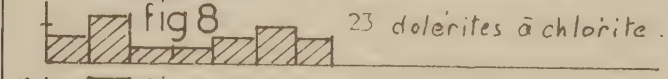


fig 8 23 dolérites à chlorite.

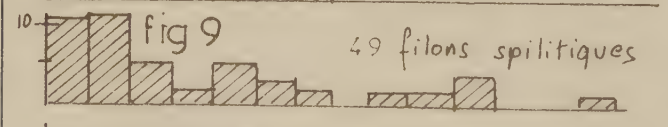


fig 9 49 filons spilitiques

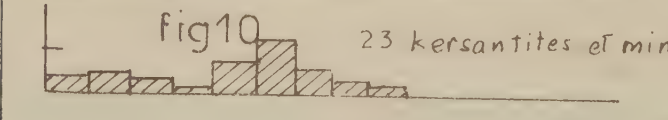
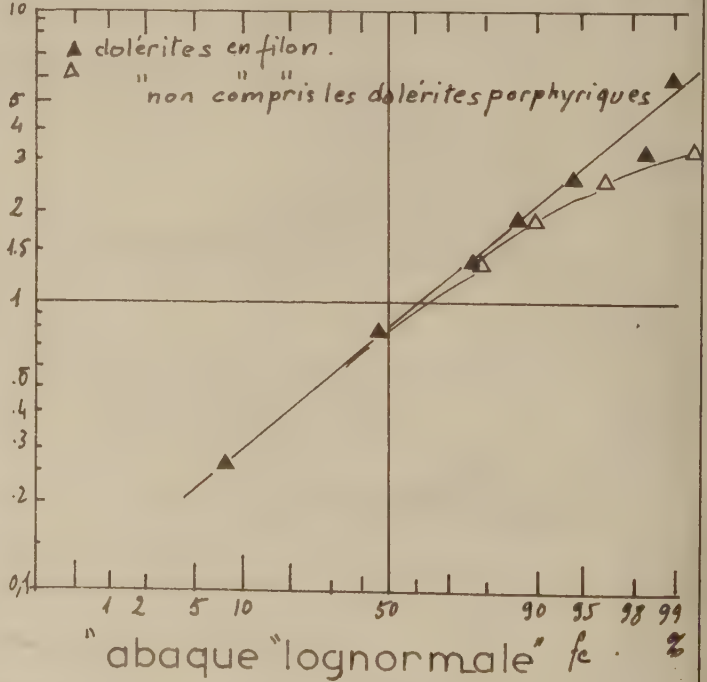


fig 10 23 kersantites et minettes

Fréquences de K (y compris analyses partielles par F.X)

g./100g de roche. fig 11



"abaque" lognormale" fc

TITANE | PL. II 8

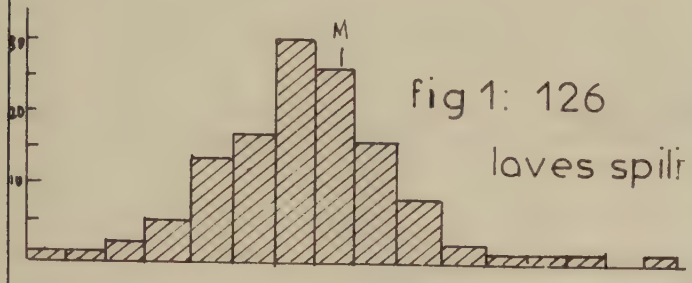


fig 1: 126 laves spilitiques

fig 2 : 62 filons doléritiques dont 8 porphyriques

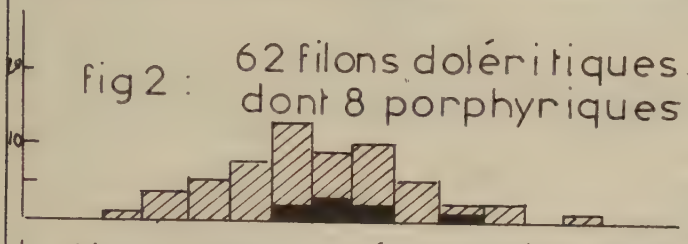


fig 3: 15 dolérites à chlorite

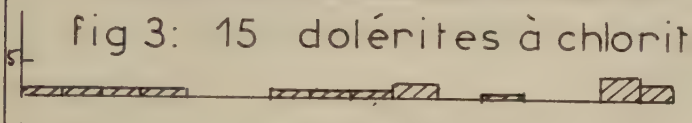


fig 4 : 31 filons spilitiques

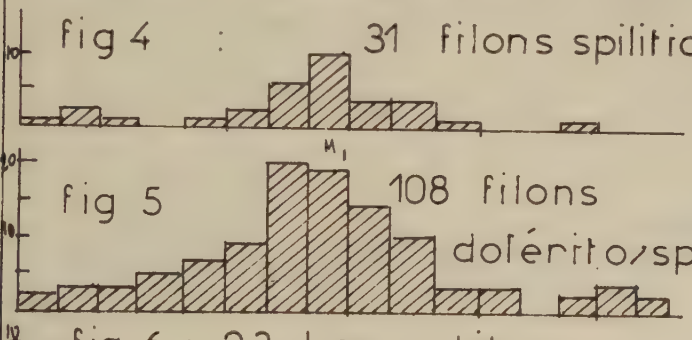


fig 5 108 filons doléritospilitiques

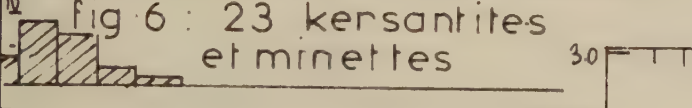
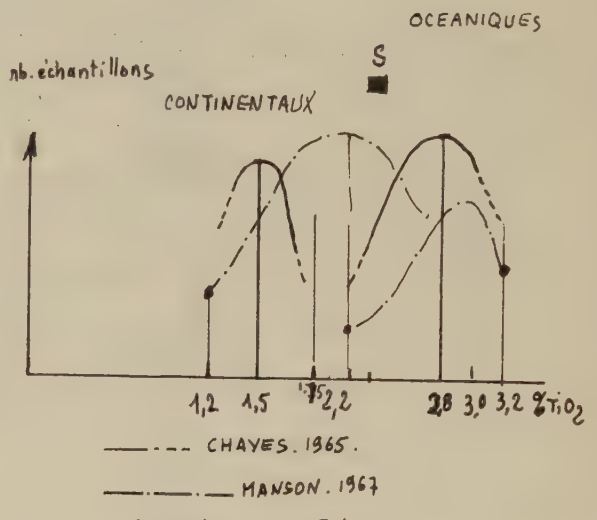


fig 6 : 23 kersantites et minettes

fig 8



A - Basaltes à quarte normatif
B - Basaltes à olivine et hiperthène normatifs
C - Basaltes à néphéline normative.
(d'après MANSON. 1967)

+ filons doléritospilitiques des Ecrins - Pelvoux -

o laves spilitiques -

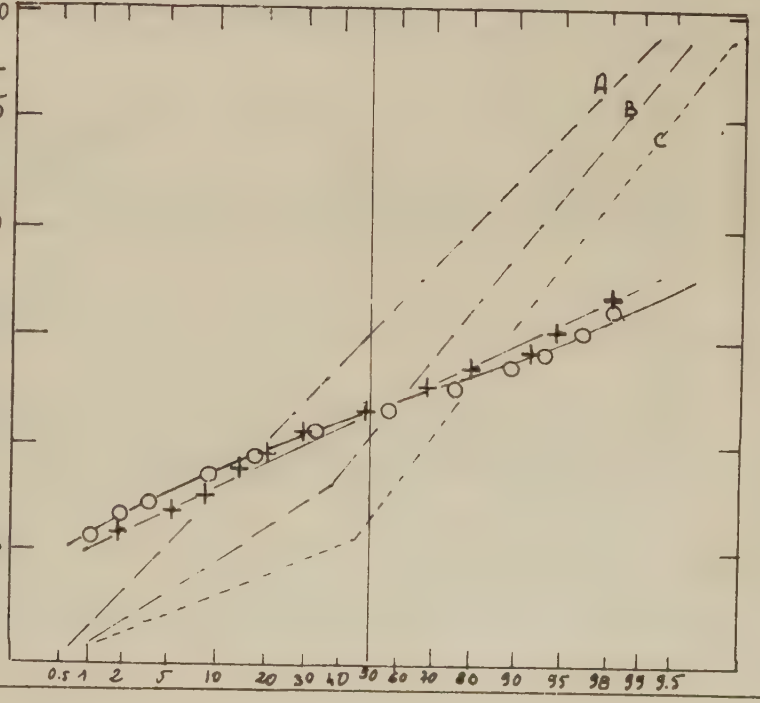


fig 7 fréquences cumulées sur l'abaque de Henry

MANGANESE | PL.II 9

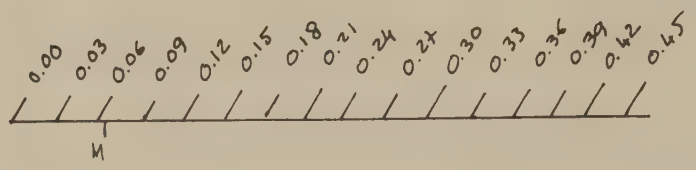


FIG.1. 126 laves spilitiques

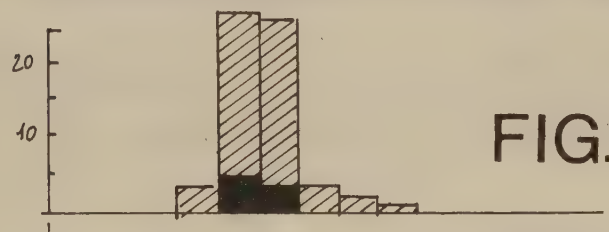


FIG.2. 62 filons doléritiques dont 8 porphyriques

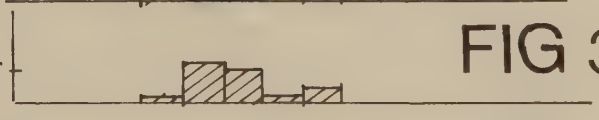


FIG 3. 15 dolérites à chlorite

FIG. 4. 31 filons spilitiques

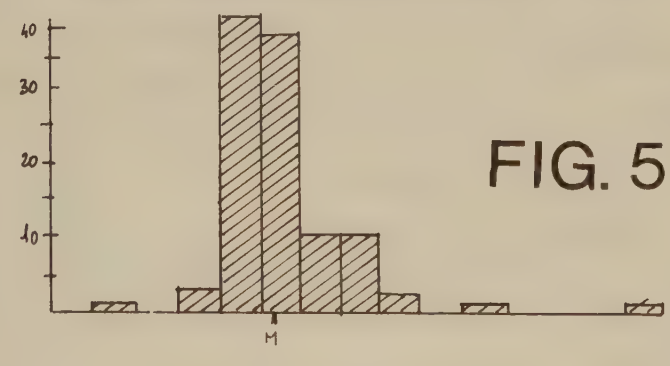


FIG. 5. 108 filons dolérito, spilitiques

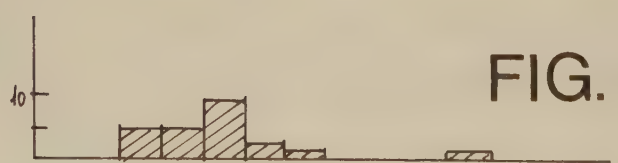
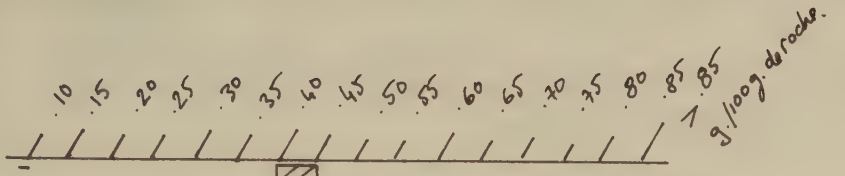


FIG. 6. 23 kersantites et minett

Histogrammes des fréquences de Mn du complexe volcanique et intrusif basique du Massif des Ecrins, Px.

HYDROGENE PL II.10



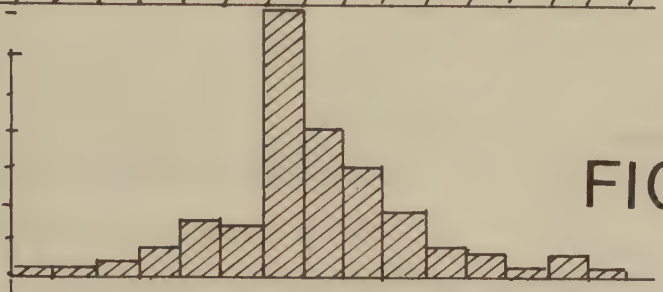


FIG.1. 126 laves spilitiques

FIG.2. 62 filons doléritiques dont 8 porphyriques

FIG.3. 15 dolérites à chlorite

FIG 4. 31 filons spilitiques

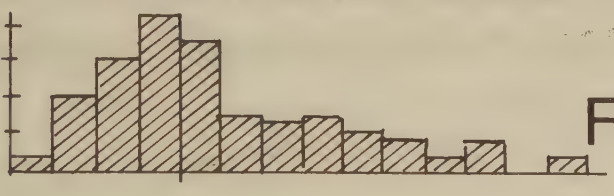


FIG.5. 108 filons dolérito-spilitiques

FIG.6. 23 kersantites et minettes

Histogrammes des fréquences de H dans le complexe volcanique et intrusif basique du Massif des Ecrins-Pelvoux

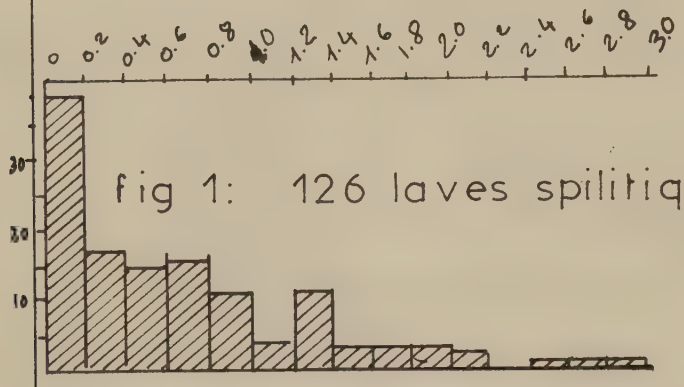


fig 1: 126 laves spilitiques

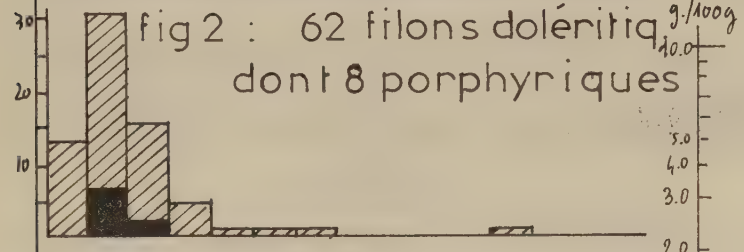


fig 2 : 62 filons doléritiq dont 8 porphyriques

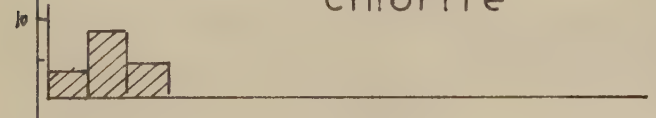


fig 3: 15 dolérites à chlorite

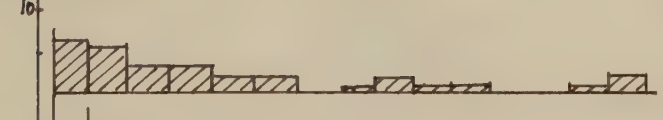


fig 4: 31 filons spilitiques

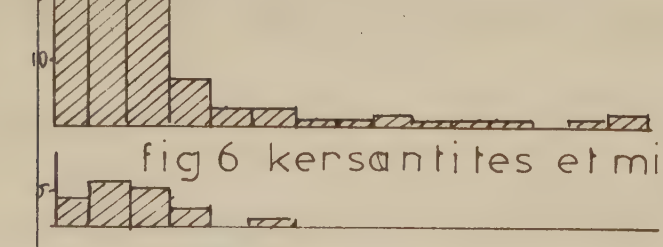
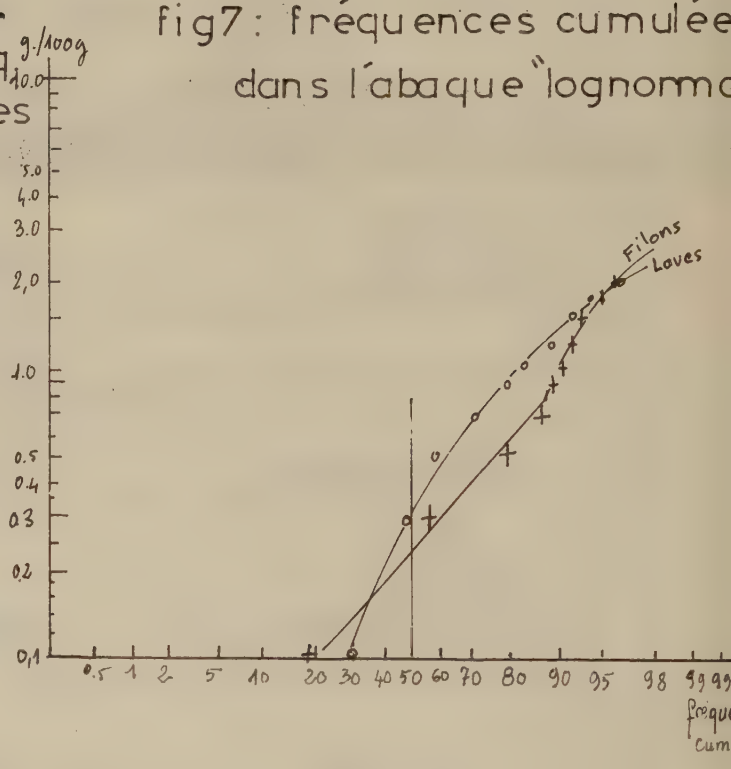


fig 5 : 108 filons dolérito-spilitiques

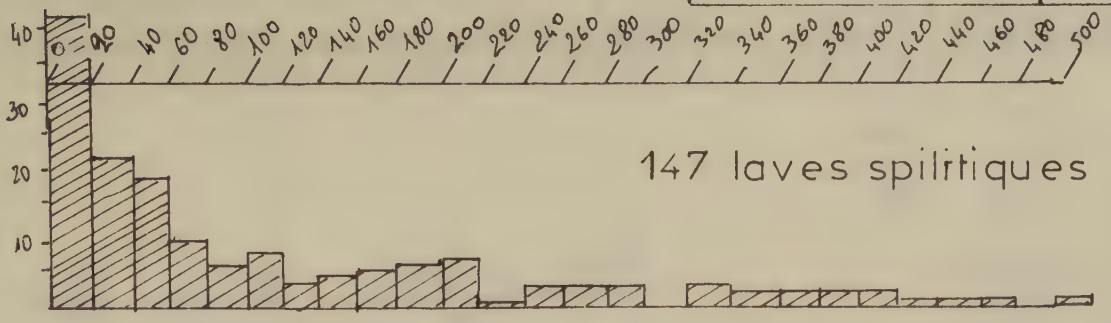
fig 6 kersantites et minettes

fig7 : fréquences cumulée dans l'abaque "lognorma

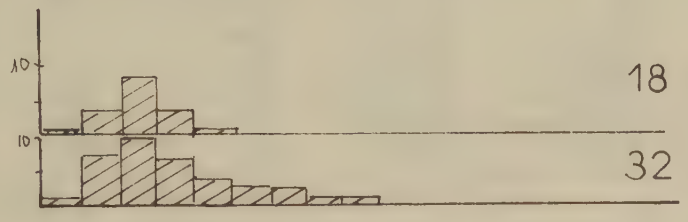


Fréquences de C dans les laves spilitiques et les filons basiques du Massif des Ecrins, Pelvoux.

RUBIDIUM | PL II 12

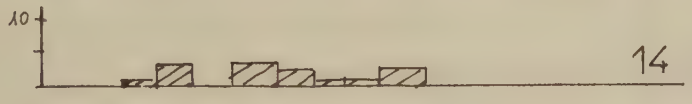


147 laves spilitiques



18 dolérites ophitiques

32 dolérites sstr.



14 dolérites porphyriques

15 dolérites microcristallines à amphibole

17 dolérites à chlorite

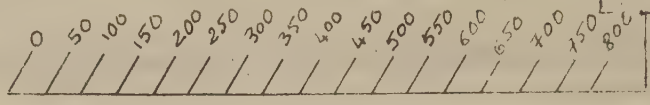
31 filons spilitiques

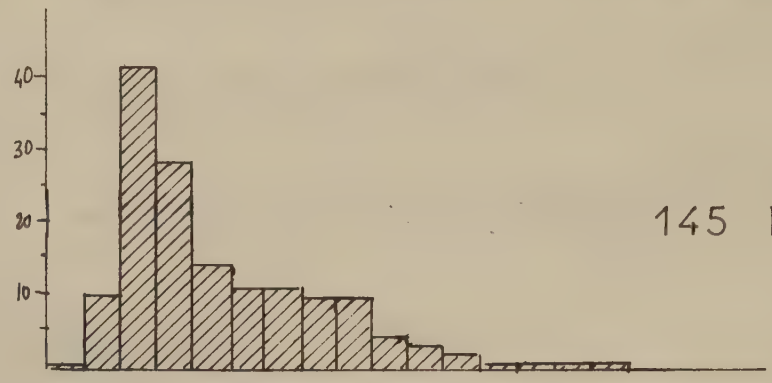
13 kersantites et minettes

117 filons dolérito-spilitiques

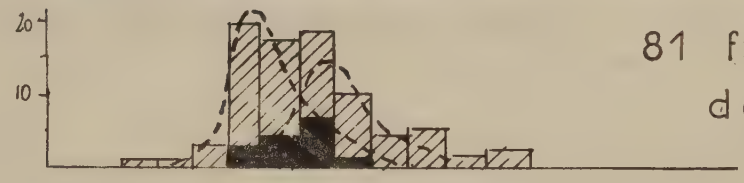
(distribution lognormale)

Histogrammes des fréquences du rubidium

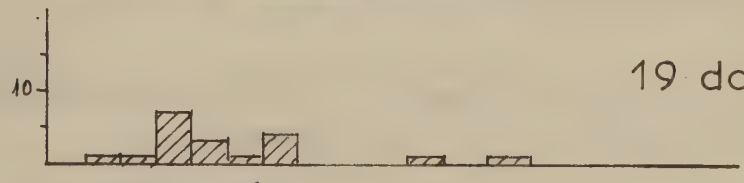




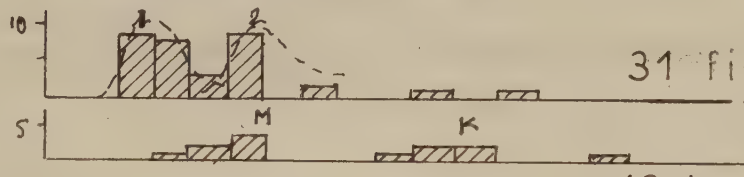
145 laves spilitiques



81 filons doléritiques
dont 14 porphyriques



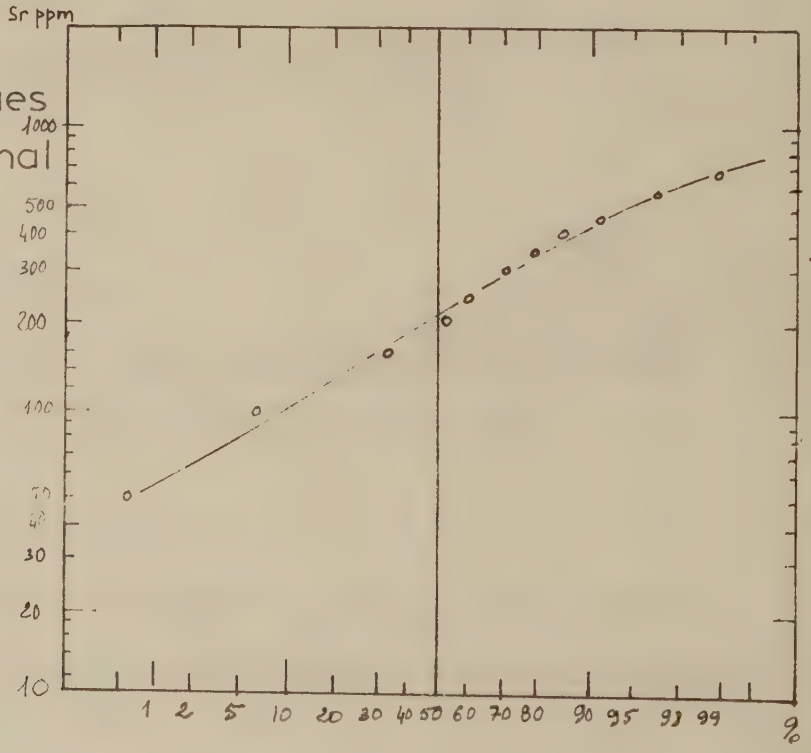
19 dolérites à chlorite



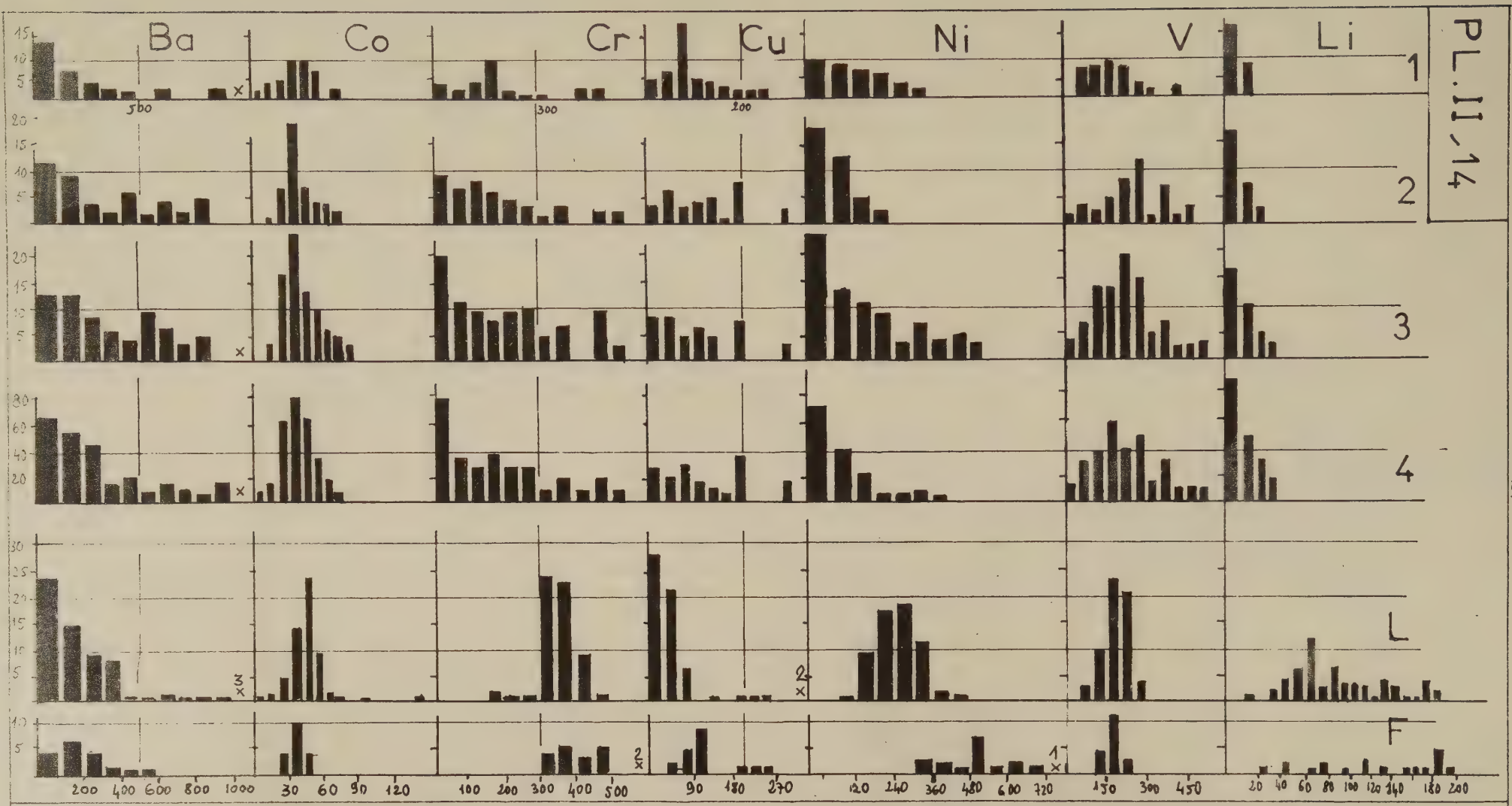
31 filons spilitiques
1 cheminée combe du Veyre
2 dyke W. partie S. crupillouse

13 kersantites et minettes

145 laves spilitiques
dans l'abaque lognormal



Fréquences du strontium



Fréquence des éléments en trace dans les basaltes (M. PRINZ _ 1967)
et dans l'ensemble effusif et intrusif basique des Ecrins, Pelvoux.

1. tholeïte à olivine
2. Basalte alcalin à olivine
3. Basaltes alcalins
4. tous les basaltes
L. 88 Laves spilitiques du massif des Ecrins - Pelvoux
F. 17 filons à affinités dolérítiques du massif des Ecrins Pelvoux.

PL II_15

MATRICE DES COEFFICIENTS DE CORRÉLATION LINÉAIRE
ENTRE ÉLÉMENTS CHIMIQUES DOSÉS SUR LES LAVES _
(ANALYSE L et L')

	SI	AL	FE	MG	CA	NA	K	TI	MN	H	C	O	BA	CO	CR	CU	NI	SR	V	LT	RB
SI	1.000																				
AL	0.249	1.000																			
FE	-0.236	[illegible]	1.000																		
MG	-0.116	-0.037	-0.032	1.000																	
CA	-0.667	-0.593	-0.149	-0.315	1.000																
NA	0.276	0.202	0.049	0.025	-0.340	1.000															
K	0.061	0.165	-0.050	-0.521	0.172	-0.712	1.000														
TI	-0.149	-0.028	0.344	0.116	-0.006	0.220	-0.254	1.000													
MN	-0.161	-0.241	0.040	-0.040	0.257	-0.099	0.067	0.151	1.000												
H	-0.091	0.139	-0.116	0.472	-0.446	-0.074	-0.194	-0.196	-0.241	1.000											
C	-0.412	-0.564	-0.359	-0.254	0.892	-0.230	-0.004	-0.092	0.161	-0.289	1.000										
O	0.093	-0.118	-0.552	0.241	-0.069	0.026	-0.259	-0.159	-0.209	0.526	0.204	1.000									
BA	-0.023	0.089	0.085	-0.289	0.141	-0.366	0.607	-0.047	0.072	-0.203	-0.116	-0.396	1.000								
CO	-0.336	0.094	0.299	0.457	-0.100	0.085	-0.333	0.289	0.116	0.173	-0.096	-0.060	-0.108	1.000							
CR	0.032	0.042	-0.178	0.034	0.017	-0.338	0.370	-0.275	-0.022	-0.027	-0.050	-0.097	0.405	-0.068	1.000						
CU	0.016	0.237	0.074	0.121	-0.199	0.222	-0.181	0.028	-0.051	0.091	-0.130	0.017	-0.153	0.641	-0.034	1.000					
NI	-0.227	-0.478	0.207	0.255	0.228	0.040	-0.368	0.293	0.140	-0.212	0.191	-0.052	-0.259	0.380	-0.022	0.117	1.000				
SR	0.352	0.030	-0.100	-0.009	-0.177	0.348	-0.095	-0.133	0.073	-0.081	-0.283	-0.130	0.289	-0.254	0.009	-0.080	-0.146	1.000			
V	0.087	0.145	0.503	0.220	-0.343	0.050	-0.029	0.288	-0.075	0.093	-0.507	-0.270	0.141	0.067	-0.101	-0.101	-0.026	0.236	1.000		
LT	-0.347	-0.027	-0.142	0.627	0.010	-0.151	-0.345	0.139	0.027	0.314	0.205	0.424	-0.397	0.452	-0.014	0.187	0.384	-0.454	-0.245	1.000	
RB	-0.037	0.142	-0.173	-0.486	0.252	-0.710	0.907	-0.164	0.056	-0.205	0.184	-0.101	0.396	-0.257	0.205	-0.143	-0.287	-0.321	-0.152	-0.130	1.000

MATRICE DES COEFFICIENTS DE CORRÉLATION LINÉAIRE
ENTRE ÉLÉMENTS CHIMIQUES DOSÉS SUR LES FILONS
DOLERITIQUES ET SPILITIQUES SEULS
(ANALYSE _ D et D')

	SI	AL	FE	MG	CA	NA	K	TI	MN	H	C	O	BA	CO	CR	CU	NI	SR	V	LT	RB
SI	1.000																				
AL	0.352	1.000																			
FE	0.234	0.212	1.000																		
MG	0.561	0.159	0.499	1.000																	
CA	-0.822	-0.556	-0.558	-0.557	1.000																
NA	0.534	0.460	0.174	0.510	-0.322	1.000															
K	-0.263	0.024	-0.097	-0.368	-0.056	-0.696	1.000														
TI	-0.250	-0.213	0.262	-0.007	0.166	-0.051	0.227	1.000													
MN	-0.495	-0.411	-0.193	-0.598	0.732	-0.656	0.496	0.341	1.000												
H	-0.213	-0.109	0.340	-0.089	-0.165	-0.575	0.259	-0.126	0.142	1.000											
C	-0.874	-0.591	-0.436	-0.604	0.885	-0.623	0.219	0.241	0.823	0.164	1.000										
O	-0.359	-0.091	-0.236	-0.632	0.357	-0.163	-0.249	-0.264	0.142	0.375	0.411	1.000									
BA	0.432	0.333	0.291	0.017	-0.659	-0.234	0.591	0.054	-0.251	0.246	-0.419	-0.257	1.000								
CO	-0.086	0.091	0.193	0.111	0.106	0.349	-0.616	-0.147	-0.214	0.029	-0.057	0.347	-0.345	1.000							
CR	0.106	0.251	0.027	-0.036	-0.068	0.228	-0.524	-0.662	-0.349	0.147	-0.226	0.539	-0.279	0.560	1.000						
CU	-0.326	0.016	0.123	0.068	-0.008	-0.311	0.354	0.130	0.263	0.373	0.153	-0.019	-0.123	-0.209	0.076	1.000					
NI	0.585	-0.059	0.129	0.294	-0.372	0.304	-0.474	-0.277	-0.675	-0.051	-0.307	0.101	0.115	0.464	0.463	-0.259	1.000				
SR	0.665	0.525	0.254	0.473	-0.543	0.763	-0.294	-0.188	-0.637	-0.494	-0.300	-0.436	[illegible]	0.156	0.192	-0.312	0.329	1.000			
V	-0.212	-0.256	0.036	-0.199	0.373	0.129	-0.354	0.551	0.224	-0.242	0.250	0.227	-0.213	0.391	-0.187	-0.307	0.092	-0.210	1.000		
LT	-0.376	-0.529	0.172	-0.200	0.218	-0.604	0.276	0.257	0.373	0.574	0.535	0.336	0.050	-0.002	-0.056	0.314	0.066	-0.544	0.061	1.000	
RB	-0.482	-0.084	-0.254	-0.513	0.218	-0.713	0.922	0.187	0.654	0.189	0.446	-0.118	0.371	-0.439	-0.511	0.204	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

PL II 16

Matrice des coefficients de corrélation entre éléments majeurs dans l'ensemble des filons dolérito. spilitiques (Analyse D)

SI	1.001											
AL	0.376	1.000										
FE	-0.374	0.106	1.000									
MG	-0.144	0.018	0.338	1.000								
CA	-0.505	-0.457	-0.293	-0.165	1.000							
NA	0.390	0.402	-0.033	0.007	-0.265	1.000						
K	-0.376	0.082	-0.179	-0.316	-0.128	-0.557	1.000					
TI	-0.059	-0.120	0.485	-0.174	-0.123	0.099	-0.019	1.000				
MN	-0.199	-0.103	0.081	-0.181	0.125	-0.020	-0.028	0.020	1.000			
H	-0.038	-0.051	0.030	0.235	-0.294	-0.058	-0.175	-0.186	0.213	1.000		
C	-0.612	-0.473	-0.150	-0.428	0.655	-0.518	0.253	0.024	0.258	-0.080	1.000	
O	0.022	-0.230	-0.282	-0.291	-0.035	-0.256	-0.068	-0.229	0.137	0.521	0.302	1.000
	SI	AL	FE	MG	CA	NA	K	TI	MN	H	C	O

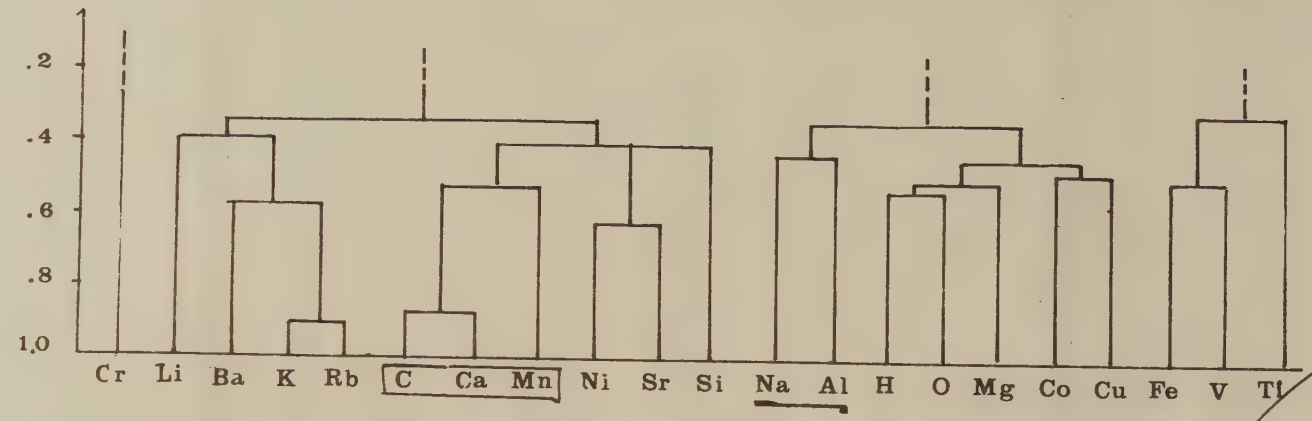
PL II 17

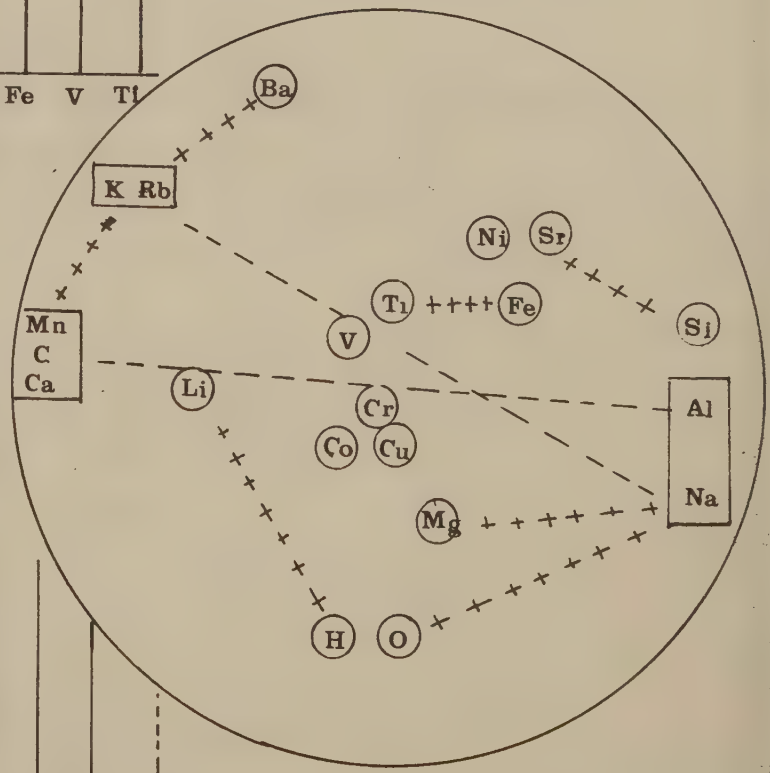
Matrice des coefficients de corrélation entre éléments majeurs dans l'ensemble des filons basiques (Analyse F).

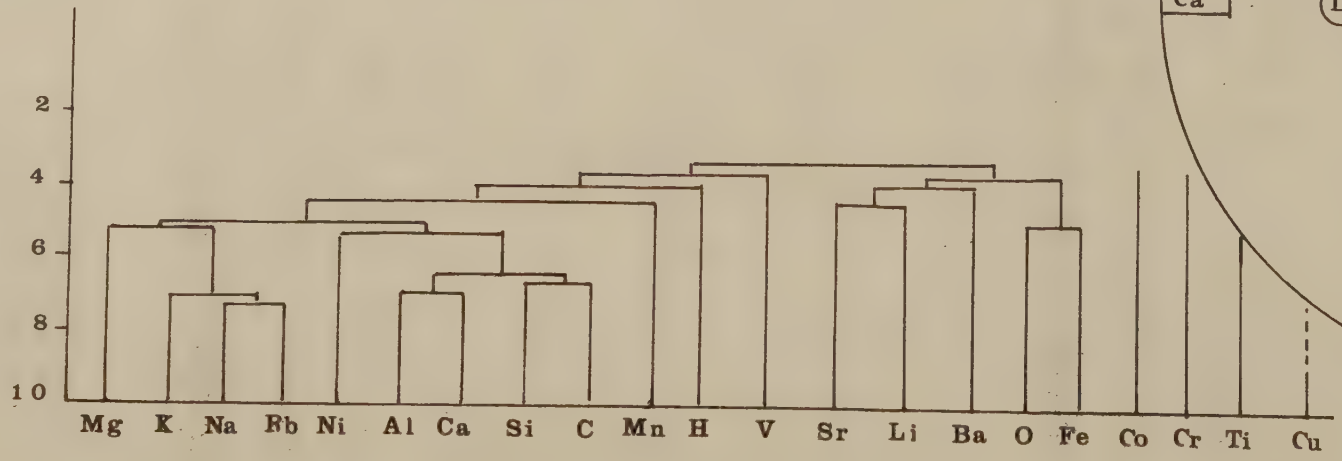
SI	1.001											
AL	-0.157	1.000										
FE	-0.019	0.259	1.000									
MG	-0.064	-0.117	0.073	1.000								
CA	-0.343	-0.283	0.071	-0.262	1.000							
NA	0.077	0.421	0.212	-0.120	-0.036	1.000						
K	0.166	-0.016	-0.401	-0.225	-0.236	-0.578	1.000					
TI	-0.444	0.159	0.709	-0.286	0.155	0.250	-0.201	1.000				
MN	-0.362	-0.004	0.237	-0.221	0.217	0.046	-0.099	0.192	1.000			
H	0.343	-0.139	-0.117	0.273	-0.312	-0.156	-0.086	-0.252	0.125	1.000		
C	-0.518	-0.372	-0.015	-0.363	0.618	-0.417	0.134	0.096	0.288	-0.094	1.000	
O	0.245	-0.282	-0.476	-0.103	-0.181	-0.358	0.100	-0.437	-0.019	0.564	0.173	1.000
	SI	AL	FE	MG	CA	NA	K	TI	MN	H	C	O

Corrélations entre éléments chimiques dans les laves spilitiques du Pelvoux

PL II 18

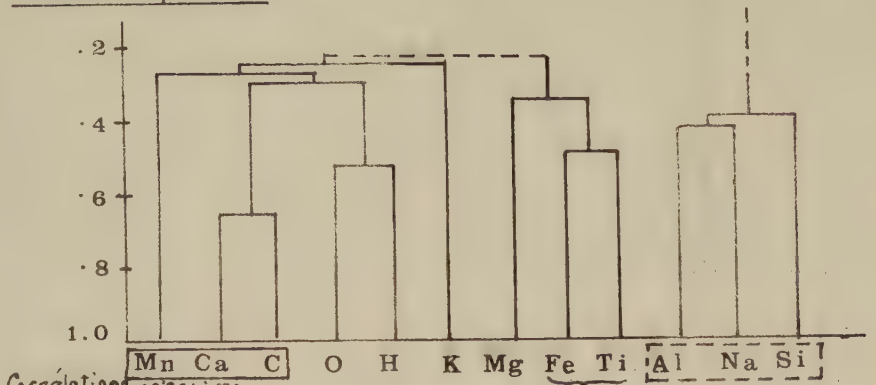




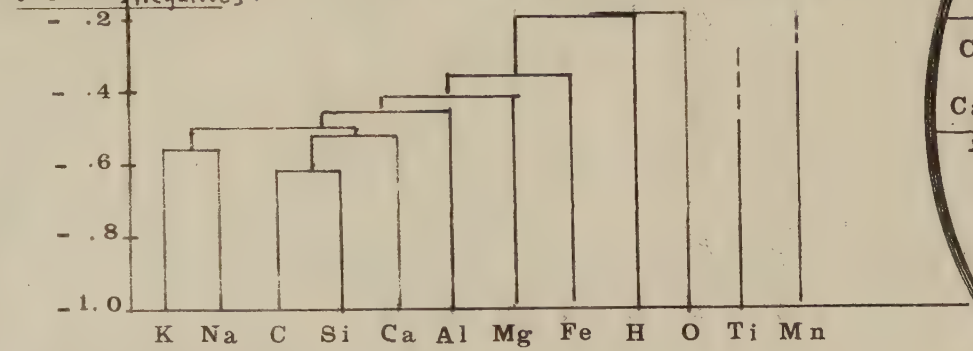


Corrélations entre éléments chimiques dans les filons dolérito-spilitiques (82 éch.)

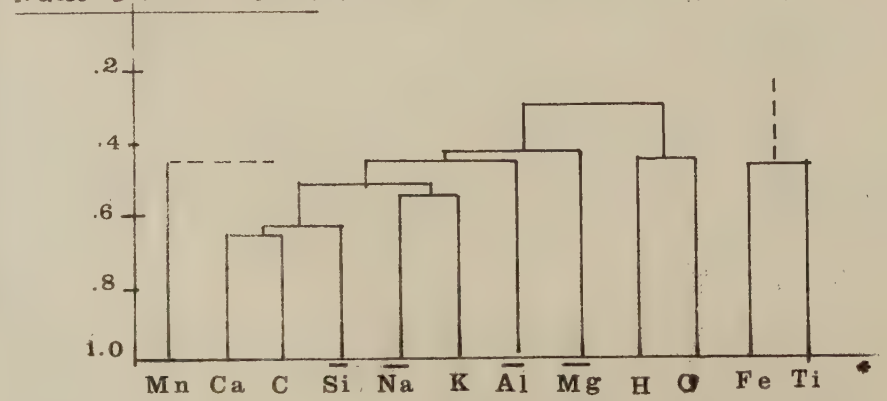
corrélations positives.

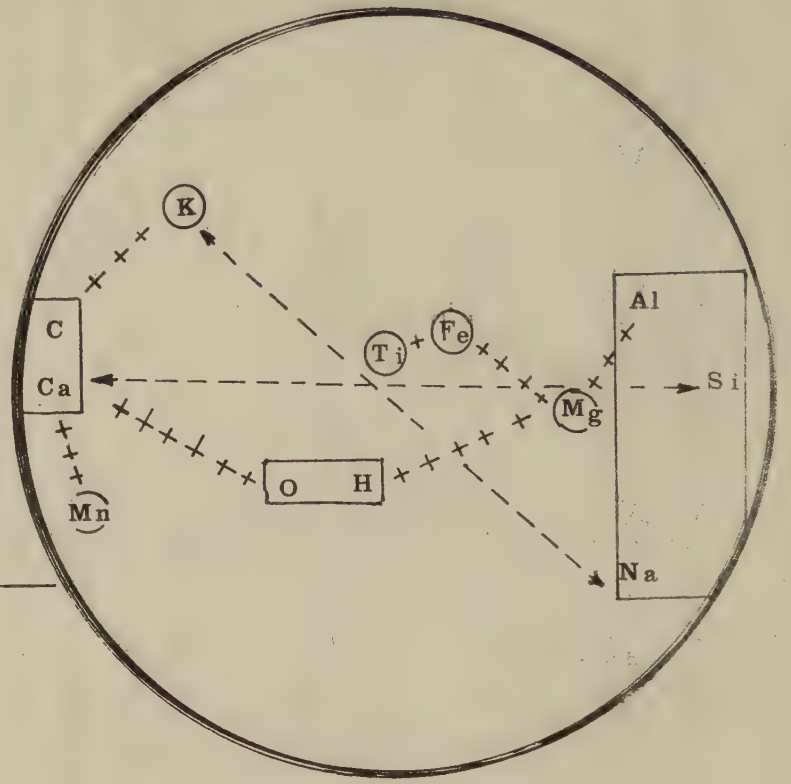


Corrélations négatives.



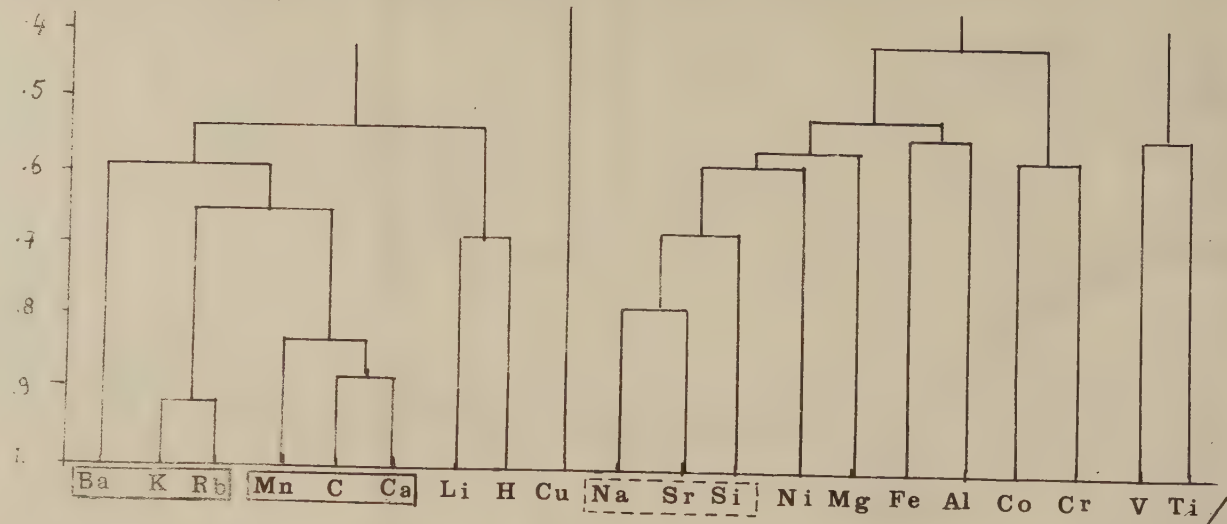
v. absolue de la corrélation.



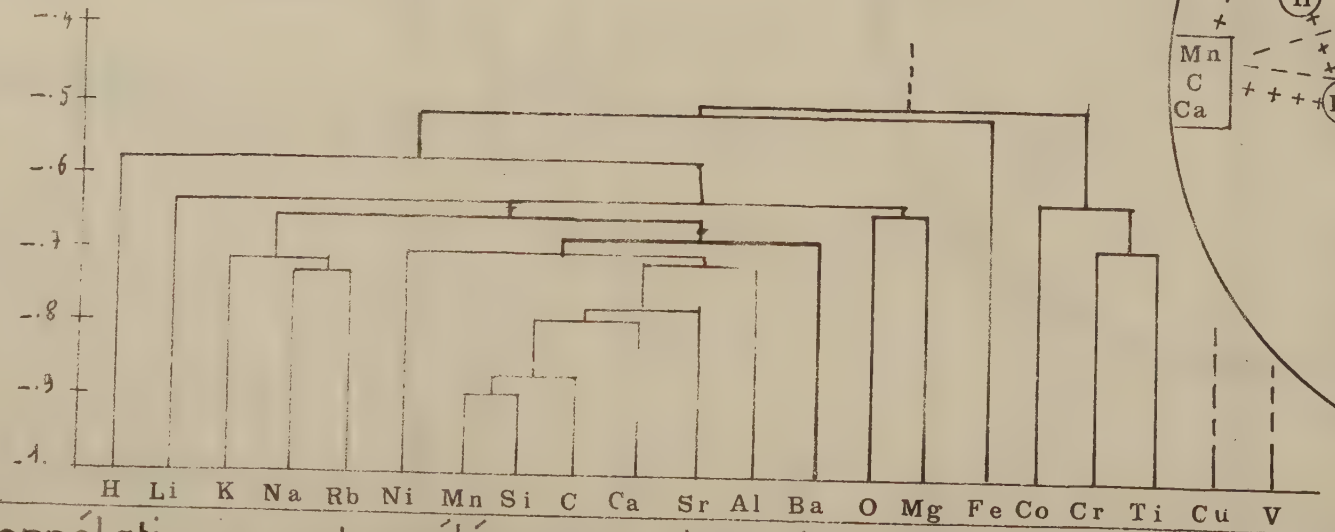


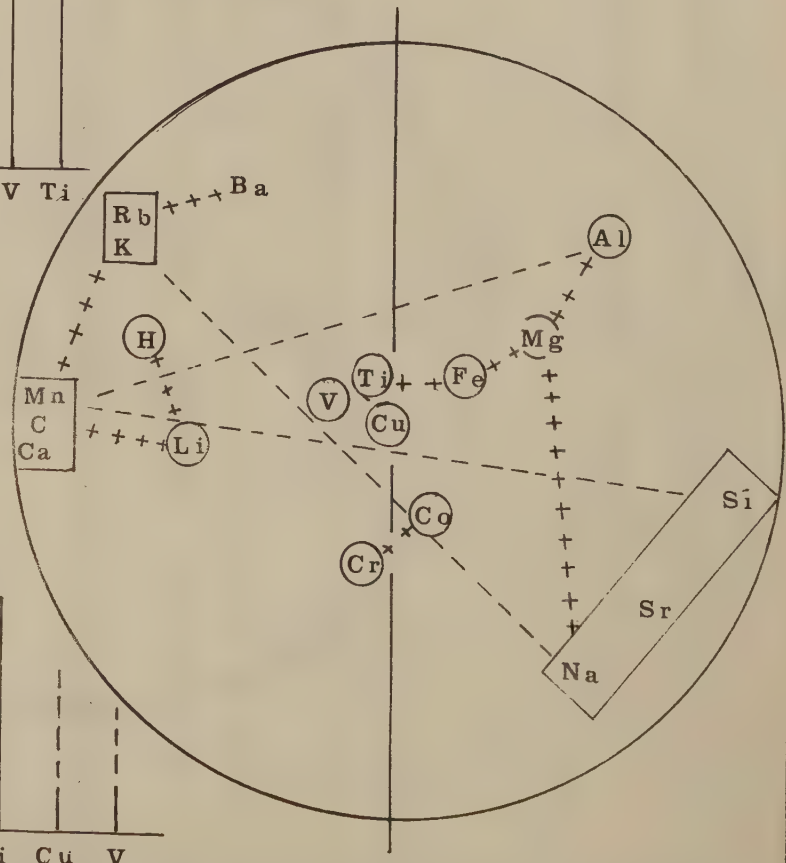
* Le symbole $\overline{Si}$ représente l'élément fictif complémentaire de Si.

coef. correlation positifs.

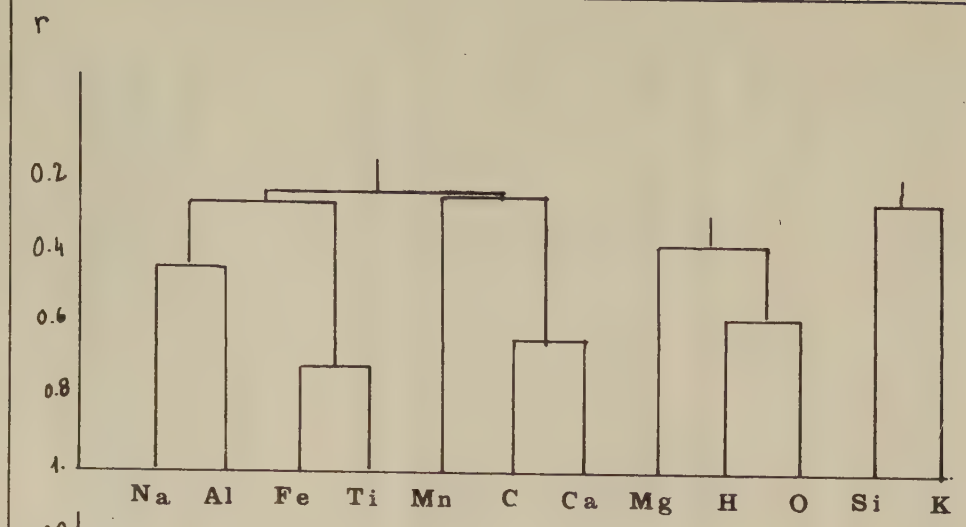


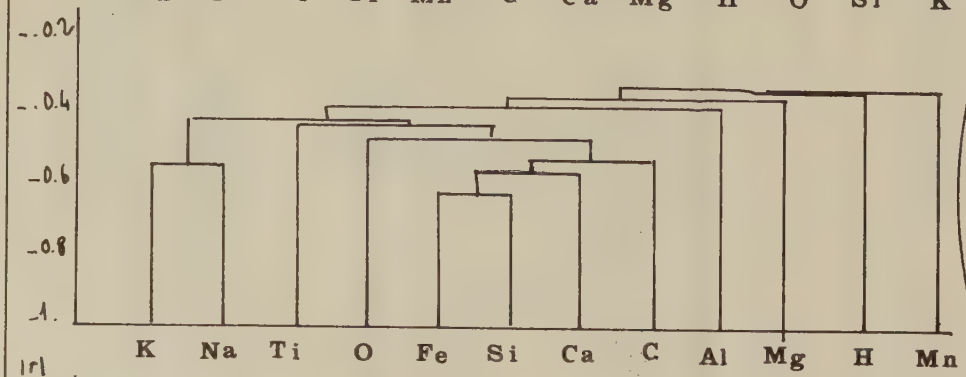
coef. correlation négatifs

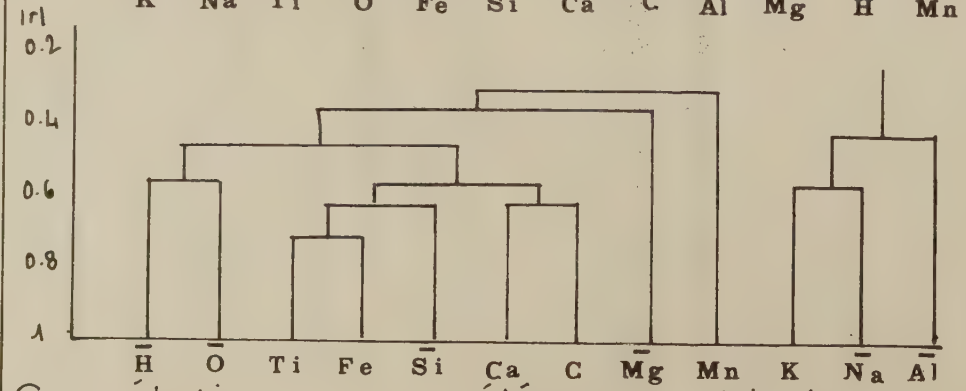


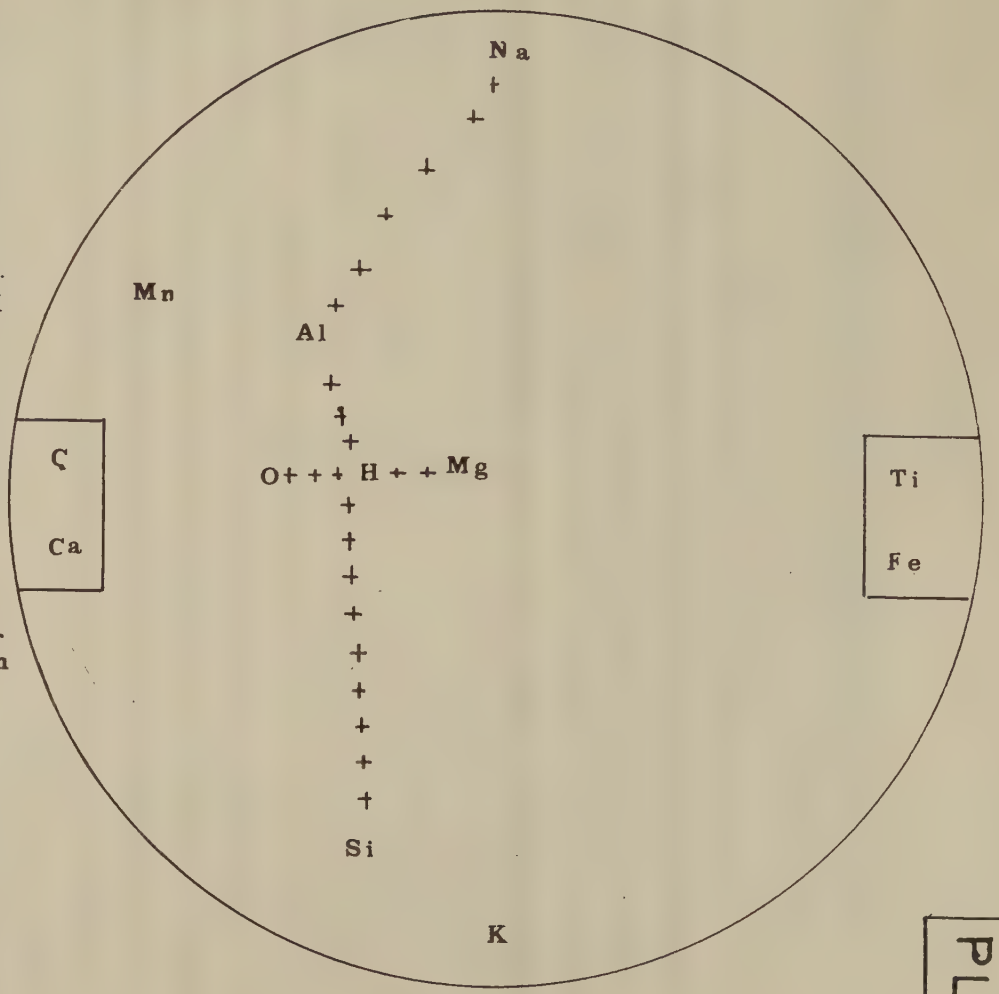


Corrélations entre éléments dans les filons dolérito-spilitiques (17 échantillons)









Corrélations entre éléments chimiques majeurs dans les filons basiques (dolérites, spilites, kersantites, minettes) du massif des Ecrins, Pelvoux.

PL II 21

2.4 - DISCUSSION DES DONNEES ISSUES DES CALCULS STATISTIQUES MONO ET BIVARIABLES (P1 II 2 à 14)

Parmi les médianes des 21 éléments analysés, seules celles de Ca et Li sont à l'extérieur de l'intervalle "moyenne ± écart type" représentatif des teneurs de 67 % des basaltes mondiaux.
(population de référence : 1996 échantillons caractérisés par leurs éléments majeurs (MANSON, 1967) et 385 échantillons pour les éléments traces (PRINZ, 1967)).

Le cortège dolérito-spilitique du massif des Ecrins-Pelvoux montre donc beaucoup d'affinités avec les roches basaltiques. Les ressemblances les plus nettes concernent les éléments les moins variants : Si, Al, Fe, Ti, Cu, Co dont les teneurs sont bien centrées sur les médianes des basaltes.

Des divergences notables pour K, Rb, Na, Cr et Ni observables sur les laves, s'estompent nettement dans les filons.

Les éléments les plus variants présentent toujours des affinités avec les éléments volatils H et C, donc très probablement avec les composés volatils H_2O et CO_2.

Seules les minettes du Valbonnais et les kersantites présentent de fortes divergences tant avec le cortège dolérito-spilitique qu'avec les roches basaltiques.

2.4.1 - LES ELEMENTS PEU VARIANTS

2.4.1.1 - LE GROUPE Fe - Ti - V

Ces trois éléments sont toujours assez nettement corrélés positivement entre eux, et sont indépendants des autres éléments.

Leur faible variance et leur distribution gaussienne sur l'ensemble étudié laissent supposer qu'ils ne sont pas affectés par la spilitisation.

- Fe (Cf P1 II 4)

Le fer à été dosé globalement sous forme de Fe^{3+} total dans la plupart de nos échantillons. Lorsque le fer ferreux a été dosé

séparément par voie humide, les valeurs obtenues ne nous ont pas paru cohérentes. Ceci peut être attribué à deux causes bien différentes :

- En raison de la convergence de faciès macroscopiques entre les caractères spilitiques et l'altération météorique, il est souvent extrêmement délicat d'affirmer, sur l'affleurement, si l'échantillon est indemne de toute oxydation du fer dûe uniquement à une cause superficielle.

- Un broyage prolongé dans un broyeur à anneaux entraîne un échauffement local des grains qui peut être responsable, dans les cas les plus défavorables, de l'oxydation de 15 à 30 % du Fe^{2+} originel. Ceci a été constaté par G. VIVIER (communication orale) sur le même échantillon qui, broyé pendant quelques minutes, était beaucoup plus riche en Fe^{3+} que lorsqu'il était broyé par étapes (1).

Devant ces difficultés il nous a paru prudent de ne tenir compte que des valeurs mesurées ou converties en Fe^{3+} total. Dès lors les teneurs n'apparaissent plus suffisamment discriminantes pour permettre une identification avec une partition basaltique déterminée.

- V (Cf P1 II 14)

La teneur moyenne de V est sensiblement supérieure dans les laves (188 ppm) que dans les filons (170 ppm). Les valeurs des médianes respectives de ces groupes en sont très voisines (la médiane de V dans les laves est de 200 ppm). Donc la distribution est gaussienne, et nous constatons un sensible enrichissement des niveaux dolérito-spilitiques filoniens vers les épanchements de laves. Ceci n'est pas en contradiction avec les caractères de différenciation alcaline que nous avons pu observer par ailleurs.

L'association de V avec Fe peut se concevoir comme une affinité mutuelle rencontrée dans la magnétite, les pyroxènes, les amphiboles, et la biotite des roches magmatiques (EVANS 1969).

- -

(1) La roche est broyée pendant 4 secondes, puis tamisée. La fraction inférieure à 63 microns est conservée pour l'analyse. La fraction supérieure est recyclée suivant le même procédé. La poudre finale est alors convenablement homogénéisée avant d'être analysée.

- Ti (Pl II 8)

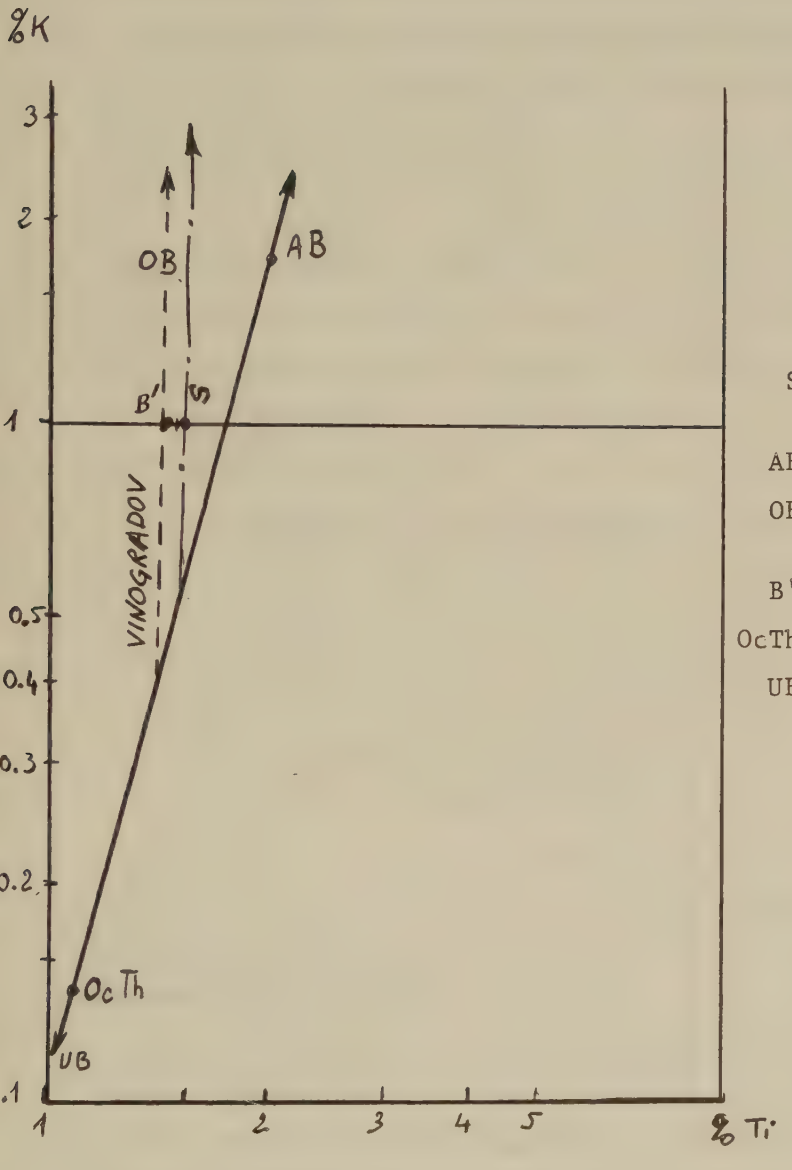
Sur l'abaque de Henry, la médiane de Ti des laves et des filons dolérito-spilitiques du massif des Ecrins-Pelvoux coïncide avec la médiane des basaltes à olivine normative. L'ensemble étudié serait donc à rapprocher de ces derniers. Mais lorsque l'on cherche à préciser davantage cette comparaison des problèmes apparaissent :

Ainsi d'après CHAYES (1965) il existe une coupure fondamentale entre le maximum de fréquence du TiO_2 des basaltes océaniques (2,8 % TiO_2) et celui des basaltes circum océaniques (1,5). La coupure proposée est à 1,75 % TiO_2. Les laves spilitiques étudiées montrent un maximum à 2,1 % TiO_2, identique au groupe de roches spilitiques riches en Ti individualisé par FONTEILLES (1968) dans la série de la Brévenne. Elles seraient plutôt à rapprocher des basaltes océaniques.

Cependant, dans l'hypothèse d'une parenté de l'ensemble étudié avec des basaltes alcalins, et en utilisant les courbes extrapolées à partir des données de CHAYES (1965) et de MANSON (1967) (fig.8 Pl II 8) nous serions tentés de conclure à une similitude avec une série de type "continental" particulièrement titanifère. Mais la parenté alcaline est loin d'être confirmée par les valeurs de Ti si l'on se réfère à NOCKOLDS (1954) qui détermine à 2,0 % TiO_2 la moyenne des teneurs des basaltes tholéiitiques contre 2,6 % pour celle des basaltes alcalins.

- Les teneurs en Ti des roches basaltiques seraient donc moins discriminantes que ce qui a été prétendu.

D'après SCHROLL (1968) Ti serait très peut variant dans les différenciations basaltiques. Se référant à VINOGRADOV (1962), il trace même une courbe de différenciation complétement indépendante de Ti pour les basaltes continentaux :



S = Spilite (laves spilitiques du massif des Ecrins-Pelvoux)

AB = Basalte alcalin océanique

OB = Basalte alcalin à olivine continental

B' = Basalte moyen (VINOGRADOV)

OcTh = Tholéiites océaniques

UB = Ultrabasites

Nous ne pouvons donc utiliser Ti pour connaître le magma originel générateur de nos roches. Il faudrait plutôt le considérer comme un indicateur du degré d'évolution.

Dans les laves, Ti est d'une remarquable constance au niveau des moyennes par gisement. Les teneurs augmentent sensiblement au niveau des filons et atteignent même 3 % dans le filon de dolérites à chlorite, du Glacier Noir. Il faudrait alors considérer que les filons doléritiques sont plus différenciés que les épanchements laviques.

D'autre part, dans l'hypothèse d'un magma générateur de type "Basalte alcalin à olivine", comme les observations pétrographiques et les hautes teneurs en alcalins permettent de le supposer, il serait possible de concevoir que l'ensemble étudié s'est mis en place à la charnière entre un milieu océanique et un milieu continental. Tant sur les données de CHAYES-MANSON (fig.8 Pl II 8) que sur celles de SCHROLL-VINOGRADOV (fig. p. 197) ; le milieu continental serait toutefois dominant.

Nous verrons plus loin que cette supposition est tout à fait compatible avec les résultats de l'étude du rapport K/Rb.

2.4.1.2 - LE GROUPE Si, Al, Mg AUTRES ELEMENTS MAJEURS PEU VARIANTS

Ces trois éléments se distinguent des précédents car leur distribution n'est plus que très grossièrement gaussienne, et nous sommes obligés d'élargir judicieusement les classes de contingence afin d'obtenir un alignement acceptable sur l'abaque de Henry.

- Si (Pl II 2)

La médiane (très proche de la moyenne) décroit d'une manière générale des filons doléritiques à chlorite (23, 25 % Si) aux laves spilitiques (21 % Si) en passant successivement par les filons porphyriques et les dolérites s.str. La présence de deux maximums pour les filons spilitiques (19,75 et 22,25 % Si) ne correspond pas à des sous-populations de filons distincts mais à deux types de différenciation interne : les faciès siliceux s'opposant aux faciès à vacuoles de calcite, en d'autres termes, Si s'oppose à Ca.

Cette opposition est d'ailleurs très bien traduite sur tous les dendrogrammes de corrélations négatives, quelque soit l'ensemble de roches considéré.

La médiane de l'ensemble des dolérites est identique à celle calculée d'après les données de MANSON (1967) sur les basaltes à hypersthène et olivine normatifs (Pl II 2 fig.7). Sur l'abaque de Henry, la pente de la distribution de Si tant sur les laves que sur les filons, est plus forte que celle des basaltes à olivine et hypersthène normatifs. Ceci n'est que la conséquence d'un moins fort "aplatissement" de la courbe en cloche de Gauss-Laplace, résultant d'un échantillonnage plus homogène. On remarquera de plus que la courbe des laves pourrait à la rigueur être interprétée comme la somme de deux partitions susceptibles de traduire la même opposition Si - Ca que dans les filons spilitiques.

Dans tous les cas les teneurs en Si sont bien plus faibles que dans les basaltes à quartz normatif et les tholéiites. La présence de quartz xénomorphe dans certains échantillons (particulièrement les dolérites ophitiques du Vallon de la Selle appelées diorites, voir même granites à amphibole par PECHER (1970)) n'est pas suffisante pour les considérer comme des roches sursaturées en silice.

Le fait que Si soit toujours corrélé positivement à Na et Al donne plus d'importance aux variations quantitatives d'albite ($Na\ Al\ Si_3O_8$) qu'à la proportion de quartz, et permet de considérer comme accessoire la présence de ce minéral.

- Al (Pl II 3)

Un léger enrichissement des laves en Al, par rapport aux filons doléritiques et à la moyenne des basaltes est à noter. Mais les teneurs restent bien trop faibles pour être comparées à celles des basaltes hyperalumineux de KUNO (1960).

La plus grande dispersion de cet élément dans l'ensemble peu variant, correspond aux filons spilitiques et aux dolérites à chlorite, dans lesquels on peut la considérer comme une réalité physique, mais difficilement interprétable. La quantité d'aluminium, néanmoins corrélé aux quantités de Si et Na permet de prévoir des variations quantitatives d'albite. Ce point sera repris plus en détail dans l'analyse factorielle.

- Mg (P1 II 5)

La tendance bimodale apparaissant sur les fig.1 à 5 P1 II 5, peut être assez aisément neutralisée sur l'abaque de Henry, et chaque mode ne correspond pas à des gisements particuliers. Cette particularité est elle uniquement la conséquence d'une dispersion plus importante de cet élément que celle observée sur les précédents (Si, Al, Fe, Fi et V) ?. (1)

Cette dispersion serait alors liée à la teneur en eau extrêmement variante. Elle serait aussi corrélée, mais négativement au groupe C - Ca. Cette dernière constatation traduit d'ailleurs la plus grande divergence avec l'ensemble des roches basaltiques. En effet FONTEILLES(1968) a déterminé une fonction unique : $[MgO] = 0,07\ [CaO]^2$, d'après les données de ARAMAKI (1963) qui serait caractèristique de toutes les partitions basaltiques.

Cette fonction, recalculée dans nos unités : $[Mg] = 0,083[Ca]^2$ a été reportée sur le diagramme de répartition des laves et des filons (P1 II 22) dans le repère (Ca ; Mg)

- Dans l'ensemble, les filons sont bien centrés sur la courbe, mais les laves sont nettement décalées vers le pôle magnésien. Dans l'hypothèse de l'invariance du magnésium dans les transformations aboutissant aux caractères spilitiques (hypothèse qui sera confirmée par l'analyse factorielle si nous prenons le soin de raisonner sur des teneurs moyennes de groupes pétrographiques individualisés) nous avons recalculé les teneurs originelles en Ca. Ces dernières sont toujours homogènes entre les différentes partitions, et sont comparables aux teneurs basaltiques.

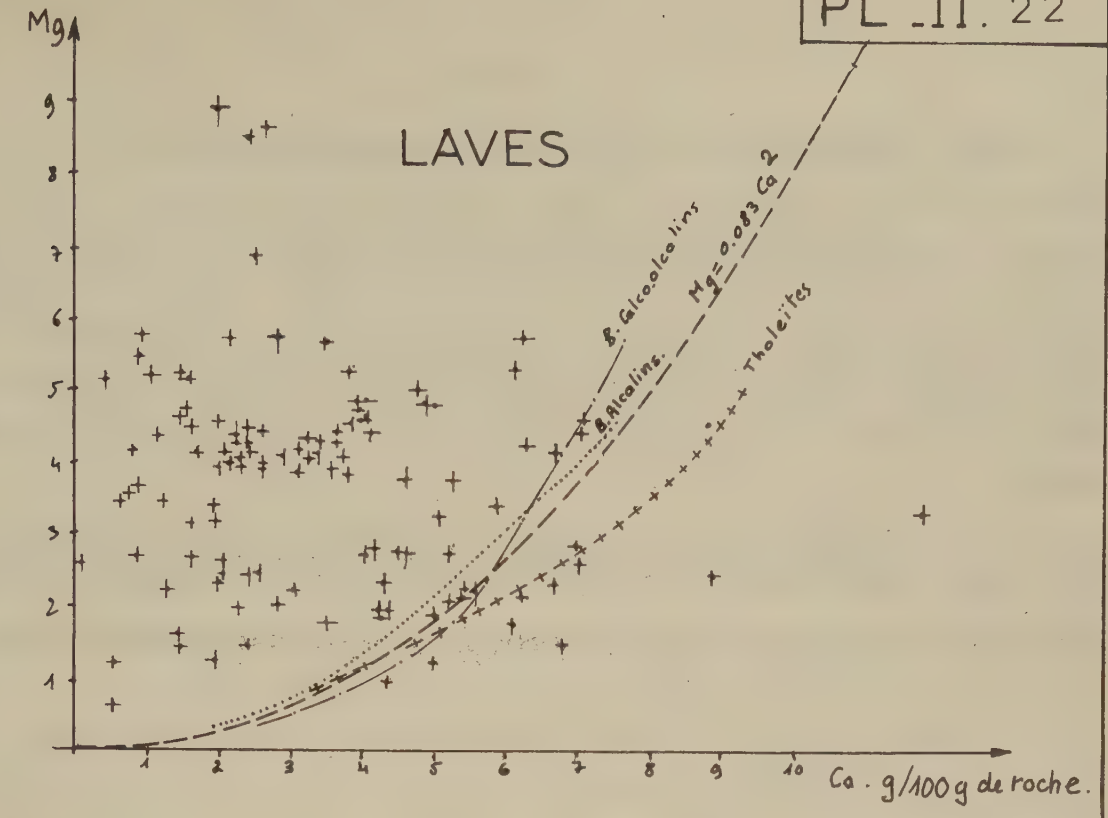
La similitude établie précédemment à l'aide des autres éléments peu variants, peut donc être confirmée. Nous pourrons alors considérer le groupe de roches dolérito-spilitiques étudié comme dérivant d'un matériel à composition basaltique par une transformation physico-chimique qui aboutirait à une perte (ou un appauvrissement) en Ca.

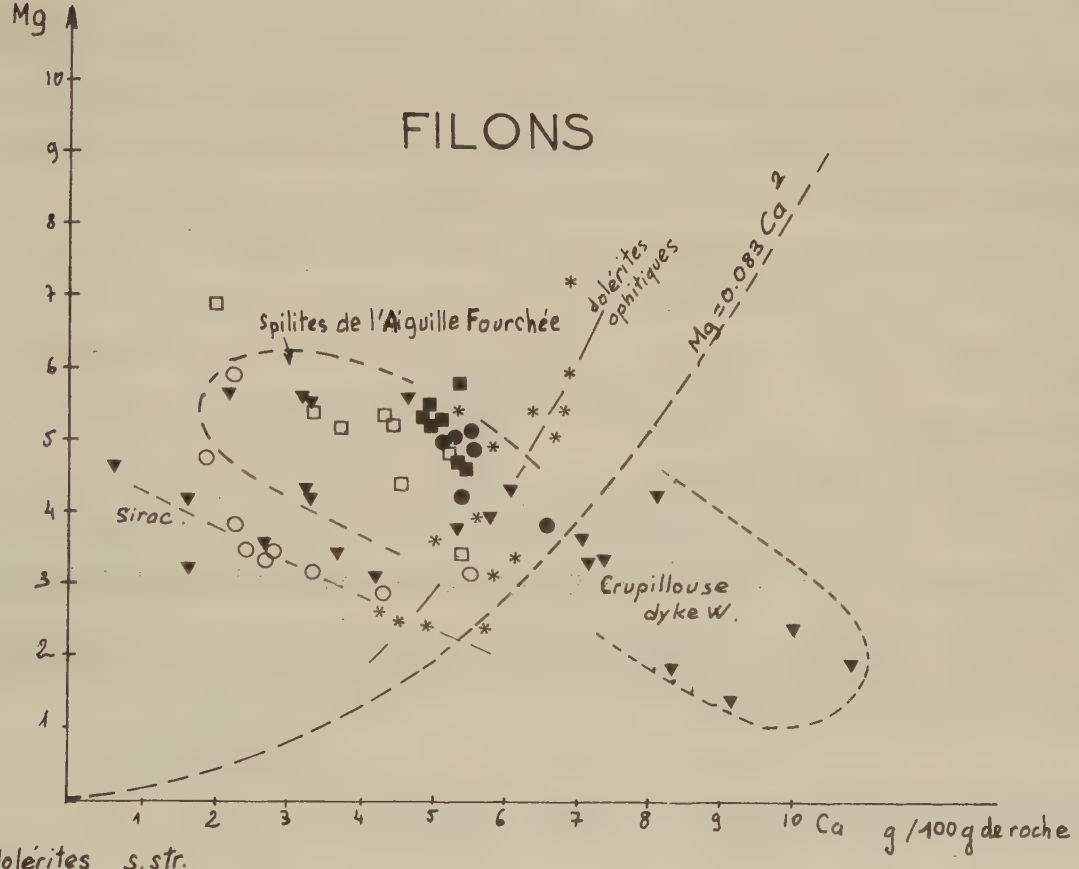
Au cours de cette transformation il est possible que Mg soit quelque peu affecté, mais dans des proportions faibles expliquant ainsi la dispersion constatée plus haut.

- -

(1) Dans les données brutes de MANSON (1967) sur les basaltes mondiaux une tendance bimodale apparaît nettement, bien que les deux modes soient très rapprochés, au niveau de toutes les partitions dolérito-basaltiques retenues.

PL II. 22





- ● dolérites s.str.
- * dolérites ophitiques
- ■ dolérites porphyriques
- □ dolérites microcristallines à Amphiboles
- ○ dolérites à chlorite
- ▼ spilites.

Corrélations Ca _ Mg sur les laves et les filons des Ecrins, Pelvoux

2.4.2 - FAMILLE Ca - C - Mn (Pl II 6, 9 et 10)

Les trois membres de ce groupe sont toujours bien corrélés entre eux. La meilleure corrélation positive apparaît entre C et Ca. Elle suggère une variation de teneur en minéral carbonaté qui n'est ni la dolomite (pas de corrélation Ca - Mg) ni la sidérite (pas de corrélation Ca - Fe), mais la calcite. Ce minéral toujours bien corrélé à Mn doit être une calcite manganésifère.

Au niveau des laves cette corrélation s'estompe sensiblement. Une réaction plus complexe doit apparaître. Ce point sera examiné conjointement à Li.

- Ca (Pl II 6)

De nombreux auteurs dont FONTEILLES (1968) et CANN (1969) ... s'accordent pour faire dériver les roches spilitiques d'un basalte, principalement par perte de calcium. Les valeurs de Ca recalculées à partir des hypothèses formulées pour Mg sont les suivantes :

Laves — moyenne Ca = 6,72 g/100g de roche
médiane Ca = 5,8

Filons

Dolérites ophitiques	moyenne Ca = 7,64	moyenne Ca = 7,40
Dolérites s.str.	moyenne Ca = 7,28	médiane Ca = 7,80
Dolérites porphyriques	moyenne Ca = 7,75	

Dans les basaltes et les dolérites décrites par MANSON (1967), la médiane de Ca est comprise entre 6,5 et 7,5. Les roches les plus riches en Ca correspondent aux tholeiites à olivine.

Une perte de 25 % de Ca pour les filons et de près de 50 % pour les laves est donc plausible.

Pour comprendre le rôle joué par cet élément, nous allons examiner dans les gisements la répartition de la calcite.

a) La calcite dans le réseau filonien

La calcite est présente dans tout le réseau filonien basique des Ecrins-Pelvoux en quantité plus ou moins abondante, ce qui explique la bonne corrélation C - Ca.

Le groupe C - Ca est assez bien corrélé aussi à H. Cependant dans le détail, des phénomènes locaux rendent très variants et d'une manière indépendante ces deux éléments, présents surtout dans les composés volatils H_2O - CO_2.

Ca n'intervient cependant pas uniquement sous forme de calcite, car il n'est pas rare de rencontrer des échantillons possédant des plagioclases de composition en anorthite supérieure à 30 %.

- Dans l'amas grenu du Vallon de la Selle (SO645), le faciès sombre à vacuoles de calcite est en relation avec une zone oxydée dans les gneiss plus ou moins migmatisés de l'encaissant. (Pl I 43 p.133).

Les teneurs en Ca de cet amas, prises globalement, sont inférieures aux teneurs doléritiques de MANSON, mais le faciès de bordure s'en rapproche beaucoup. Dans le faciès à amphiboles, (SO645f) les teneurs en Ca sont même légèrement en excès. Cet amas hypovolcanique a donc fonctionné en système fermé vis à vis des migrations de Ca au cours de sa mobilisation. En supposant que Ca migre avec une phase volatile (sous forme de solution de bicarbonate par exemple) on peut comprendre qu'il se concentre vers les bordures, principalement vers le haut du gisement. Là des conditions particulières vont le faire précipiter sous forme de calcite qui occupe d'abord les vides de la roche. Si le système est bien hermétique aux ions Ca et le volume disponible dans les vides insuffisant, les solutions vont même envahir le verre et la trame feldspathique de la roche.

L'excès d'eau, s'il s'agit bien de solutions, peut alors diffuser dans l'encaissant et l'altérer. C'est ainsi que l'on peut expliquer la calotte d'altération dans les gneiss encaissants, beaucoup plus développée là où apparaissent les faciès à vacuoles de calcite.

- La calcite dans le complexe cheminées - dykes de l'Aiguille Fourchée

Ca peut dans certains cas se concentrer au-delà des teneurs moyennes des roches basaltiques. Nous en avons un exemple dans la partie S du dyke W de Crupillouse : la teneur moyenne en Ca de cette zone est de 8,8 %, elle atteint localement plus de 10 % (échantillon PO51i).

Dans ce dernier cas Ca est entièrement sous forme de calcite, occupant non seulement les vacuoles mais oblitérant aussi complétement la trame feldspathique. Les épontes de ce filon : gneiss oeillés de Crupillouse (orthogneissifiés à l'Hercynien, le FORT, 1971) sont nettes et ne présentent des traces d'oxydation qu'en surface. Les teneurs en H_2O de ce filon sont faibles (inférieures à 1,5 %) par rapport aux teneurs en CO_2.

Le reste du complexe Aiguille Fourchée, Crupillouse, Vallon de Clapouse, est comparable aux filons spilitiques : pauvres en Ca. La cheminée la plus développée (50 m de puissance) est remplie d'une brèche de ramonage (cf p.137) dans laquelle les blocs de l'encaissant sont mêlés à des blocs spilitiques qui prennent parfois des allures de "bombe en croûte de pain".

Nous pouvons considérer ce complexe comme une cheminée principale, à laquelle viennent se rattacher des dykes latéraux. Le dyke de la Combe du Veyre (PO52) est franchement lavique et on peut y reconnaitre plusieurs venues successives.

Dans le dyke W de Crupillouse, la partie S (filon PO51) et la partie N décrite par MICHEL, VERNET(1956) puis TANE (1962) jouent deux rôles différents.

- Au N : le matériel est franchement lavique
- Au S : la trame feldspathique bien développée donne une structure à tendance doléritique.

Nous pouvons alors considérer que la partie S a fonctionné, du moins en dernier lieu, comme un filon aveugle. La grande richesse en carbonate est localement traduite par de véritables filonnets de 8 à 10 cm d'épaisseur constitué essentiellement de calcite avec des enclaves vertes chloriteuses ou spilitiques. Localisés aux épontes, ces filonnets peuvent s'injecter dans les fractures de l'encaissant, mais sont aussi souvent recoupés par le matériel spilitique. Ils passent latéralement à des brèches à éléments spilitiques anguleux et striés ; le ciment carbonaté est parfois minéralisé. La mise en place de ces carbonates est manifestement synchrone de l'intrusion basique. Nous sommes tentés d'admettre qu'ils proviennent d'un matériel filonien sous-jacent appauvri en Ca.

- Cependant, ce phénomène n'a été observé que sur ce filon, et s'il constitue un indice sérieux pour supposer que les caractères spilitiques du cortège sont acquis dès les derniers stades de mise en place de l'intrusion, il ne pourra pas constituer une preuve généralisable à tout l'ensemble étudié.

Néanmoins, nous supposons que cette différenciation carbonatée est la même que celle qui occupe les vacuoles. Celles-ci, très fréquentes dans tout le réseau filonien, apparaissent même dans les structures ophitiques (amas grenu du Vallon de la Selle).

Seule une étude de l'abondance des isotopes stables de C, ou des profils de Terres Rares pourrait permettre d'établir avec certitude la parenté génétique entre ces différents carbonates.

b) La calcite dans les épanchements de laves

- Au niveau des laves le rôle du Ca est plus complexe. En effet de véritables zones calcitiques (filonnets de calcites, grosses vacuoles, pellicules de calcite entourant les projections des horizons intercalcaires) peuvent affecter des échantillons pas forcément riches en calcium. Dans ce cas les probabilités d'une migration de carbonates dans un système ouvert est très grande, et il est alors possible de parler de perte en Ca.

- Mn

La bonne corrélation de Mn avec C et Ca suggère la présence de calcite manganésifère. Les teneurs en Mn sont cependant trop faibles pour que ce minéral puisse être détecté par diffraction X. La recherche du Mn dans la calcite des vacuoles avec une sonde à balayage pourrait confirmer cette hypothèse.

Il est à noter aussi que la distribution de Mn est dissymétrique à tendance lognormale, comme celle de Ca dans les laves.

- Conclusions de l'étude des éléments groupés sous forme de carbonates

Les indices de migrations de carbonates à partir du cortège dolérito-spilitique du Massif des Ecrins-Pelvoux sont nombreux, et nos observations, encore trop ponctuelles, sont compatibles avec une différenciation sinon synchrone, du moins liée aux phénomènes dynamiques de mise en place du réseau filonien. Les travaux en cours de R. LE SUAVE (à paraître) sur les carbonates du Massif de Belledone, liés aux intrusions ultrabasiques apporteront sans doute des éléments complémentaires à l'étude des roches spili-

tiques. Les échantillons qu'il a récoltés dans le secteur que nous avons étudié, et ceux que nous lui avons confiés, font apparaître que la cristallisation des carbonates liés aux réseaux spilitiques s'est produite sous une forte température (contamination très nette par un matériel sialique ou feldspathique dans le profil des Terres Rares). Cela est difficile à rattacher à une phase du métamorphisme alpin. Cette étude viendrait donc à l'appui de nos suppositions.

2.4.3 - LES ALCALINS K et Rb

2.4.3.1 - LE POTASSIUM (P1 II 7)

a) Dans les laves cet élément présente des teneurs légèrement en excès par rapport à la moyenne des basaltes alcalins (fig. 6 a 11).

La distribution des fréquences est bimodale. En ne retenant que les valeurs inférieures à 4 g/100 g de roche la distribution se rapproche d'une distribution lognormale avec une médiane voisine de 0,8 % K donc tout à fait comparable aux basaltes alcalins à olivines (0,87).

Les quelques 30 valeurs supérieures à 4 g/100 g de roche (soit 25 % des échantillons) sont dispersées d'une manière plus aléatoire.

Les gisements les plus potassiques sont très groupés : Pic Vert, Lac du Vallon, le Vet, et sont à proximité du Valbonnais.

Si dans la distribution on enlève les valeurs correspondantes à ces gisements il ne subsiste que 5 % des valeurs susceptibles de représenter des échantillons hyperpotassiques.

Nous estimons que ces 5 % d'échantillons ne sont peut être pas représentatifs du volume des laves hyperpotassiques, car ils peuvent très bien correspondre à des faciès suréchantillonnés.

b) Dans les filons doléritiques, la teneur en K est tout à fait comparable à celle des dolérites alcalines avec une distribution lognormale à une exception près : le filon de dolérites porphyriques que l'on

rencontre depuis le vallon de la Selle de Vallouise jusqu'au versant S du Sirac.

Ce filon porphyrique (phénocristaux de feldspaths alcalins) que l'on peut suivre sur près de 4 Km recoupe toutes les formations doléritiques. On peut reconnaître localement des différenciations de bordures et des diverticules de nature spilitique. La moyenne des 17 échantillons provenant de trois coupes transversales différentes (Cascade de Chanteloube et Triéou de la Bouchéyère, Vallon de la Selle de Vallouise ; et versant W du Vallon de la Pierre (S du Sirac) atteint 2 % en K. Elle est de deux à trois fois plus élevée que les teneurs des filons recoupés.

- Les teneurs en K, bien que plus dispersées (dans ce filon) que celles des éléments peu variants restent homogènes (fig.7 P1 II 7) et la distribution est plutôt gaussienne que lognormale.

- Ces teneurs vérifient la bonne corrélation (K + Na)-K que nous avons décrite sur l'ensemble des laves (cf p.210).

Le principal minéral potassique est l'orthose. Elle apparaît en petites plages diffuses dans le fond de la roche, mais est suffisamment abondante pour être détectable par diffraction X (cf. p.109). La présence de biotite automorphe est aussi à noter. Des minéraux potassiques d'altération (séricite cristallisée sous forme de muscovite $2M_1$) apparaissent tant dans les phénocristaux plagioclasiques que dans les zones microcristallines, ainsi que dans l'encaissant.

- Ces remarques nous permettent de penser que la surconcentration en K est contemporaine de la cristallisation de la roche, et qu'elle correspond à des phénomènes tardimagmatiques (filon postérieur à la mise en place des dolérites s.str.). En effet la cristallisation d'orthose ne semble pas envisageable dans un contexte métamorphique de type limite schiste vert - anchizone, probablement responsable uniquement de l'altération des phénocristaux feldspathiques et des minéraux ferromagnésiens, ainsi que de la cristallisation de petites albites de néoformation bien reconnaissables. Cette altération ne peut être liée à un apport métasomatique de K accompagnant ce métamorphisme, car on ne comprendrait pas pourquoi il aurait épargné les filons antérieurs. A la rigueur il serait possible de considérer ce filon comme le cheminement de liquides magmatiques résiduels riches en K, ou de solutions hydrothermales liées à l'activité magmatique. Mais de telles solutions doivent avoir un rapport direct avec la structure porphyrique puisqu'elle seule est affectée.

Notons que ce filon bien spécial n'est pas unique car deux échantillons isolés, de même structure, présentent les mêmes particularités (Saut des Trois Pierres et Drac de Champoléon).

En extrapolant ces observations aux minettes du Valbonnais et aux kersantites (Fig.10 P1 II 7), que nous avons tenues à l'écart dans notre étude à cause de leurs caractères particuliers, nous pouvons supposer qu'elles seraient issues d'un mode de cristallisation spécial d'un liquide très riche en alcalins représentant un terme magmatique très évolué. Ce groupe pétrographique s'individualise surtout par l'apparition d'une biotite très potassique et très abondante parmi les mégacristaux. Ce minéral qui atteint des dimensions considérables (supérieures dans certains cas au cm) était déjà présent sous forme automorphe dans la pâte microcristalline des dolérites porphyriques.

- L'étude de la distribution de K en fonction de Rb permet de donner plus de crédit à cette supposition.

2.4.3.2 - LE RUBIDIUM ET LE " RAPPORT K/Rb" (P1 II 12)

La très bonne corrélation K - Rb (r voisin de 0,9) autant sur les laves que sur les filons devrait se traduire par une grande constance du rapport K/Rb.

Nous avons calculé ce rapport pour 125 échantillons de laves : moyenne (K/Rb) = 388 (écart type = 368)

et sur 128 filons

moyenne (K/Rb) = 166 (écart type = 50)

La dispersion du rapport des laves est surtout dûe à l'imprécision de la mesure sur les faibles teneurs (surtout celles inférieures à 10 ppm) il est même probable que la méthode de dosage utilisée (Fluorescence X) les sous-estime :

Exemple : sur un échantillon du col d'Huretières (MU 72 a) ; K = 5,5 % ; Rb = 2 ppm ; $K/Rb = \frac{5,5 \times 10^4}{2} = 2750$ (rapport le plus élevé), en supposant une teneur en Rb de 10 ppm (cette valeur serait encore bien centrée sur la droite d'étalonnage), le rapport tomberait à 550.

Pour limiter cet effet nous avons utilisé une technique statistique :

TABLEAU 1 Rb DANS LES FILONS (1)

pétrographique	1	2	3	4	5	6	7
géographique	DOLERITES					SPILITES	MINETTES
	ophitiques	s.str.	à chlorite	porphyriques	microcristallines à amphiboles		
Selle de Vallouise A	(7) + 15 47 - 8	(21) + 30 70 - 15	(7) + 20 33 - 10	(13) + 60 125- 30	(11) + 40 70 - 20	(8) + 40 40 - 20	
Sirac B	(8) + 30 55 - 15	(9) + 20 51 - 10	(3) + 15 55 - 8		(2) 40	(5) + 20 27 - 10	
Champoléon C			(4) + 40 36 - 20			(4) + 40 36 - 20	
Crupillouse D						(15) + 70 120- 35	
Valbonnais E							(9) + 80 195- 40
Glacier Noir F			(9) + 60 120- 30				

( ) = nombre d'échantillons. $x \pm^{\sigma_1}_{\sigma_2}$ de Rb mesuré sur l'abaque "lognormal"

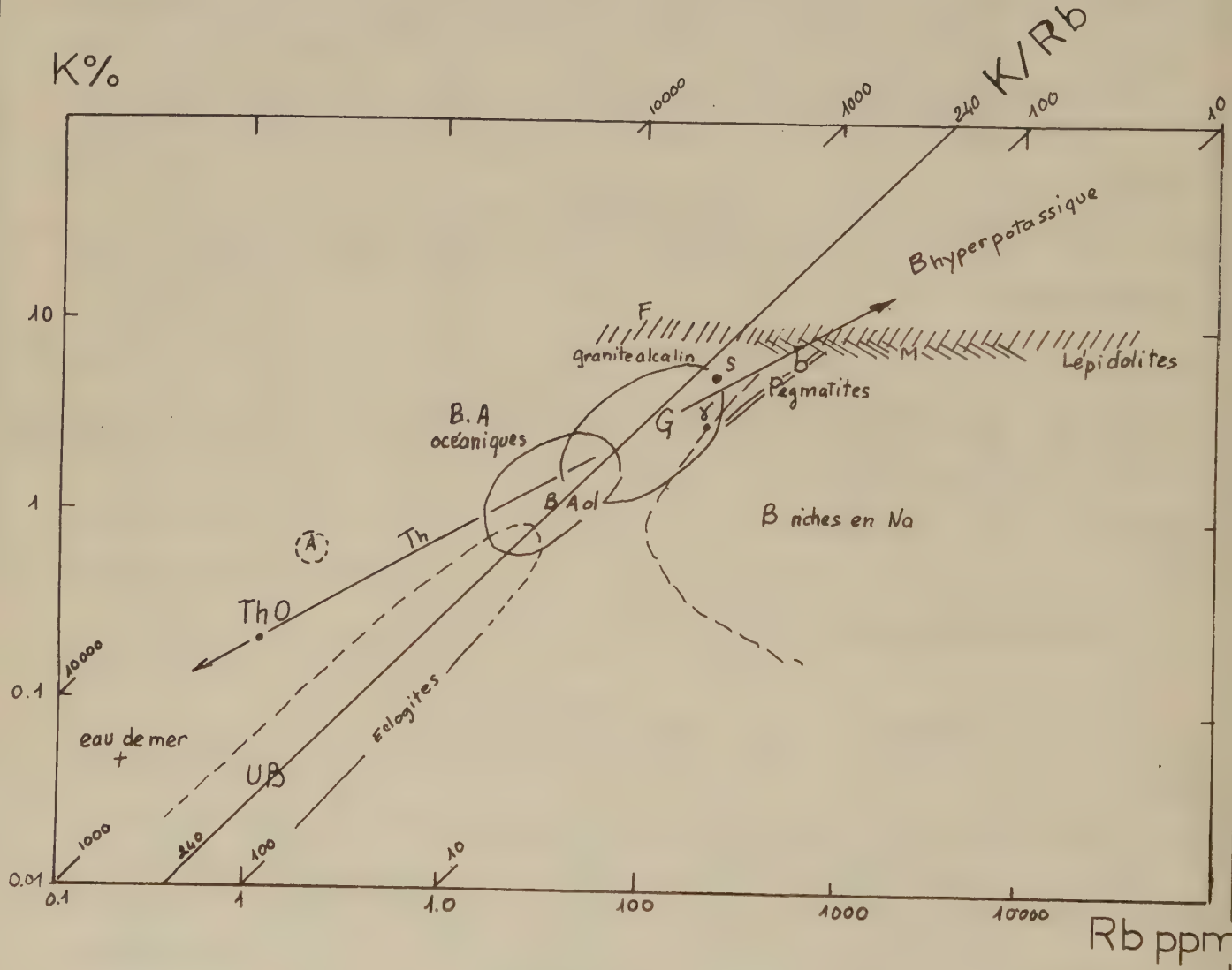
TABLEAU 2 K/Rb DANS LES FILONS

	1	2	3	4	5	6	7
A	+ 80 220 - 40	+ 80 170 - 40	+ 70 140 - 35		+ 60 170 - 30	+ 70 110 - 35	
B	+ 80 170 - 40	+ 40 130 - 20	+ 60 100 - 30	+ 50 154 - 25	+ 40 195 - 20	+ 60 110 - 30	
C			+ 40 136 - 20			+ 40 80 - 20	
D						+ 100 200 - 50	
E							+ 60 165 - 50
F			+ 60 215 - 30				

PL II 23

Répartition de K et Rb dans les principales roches ignées

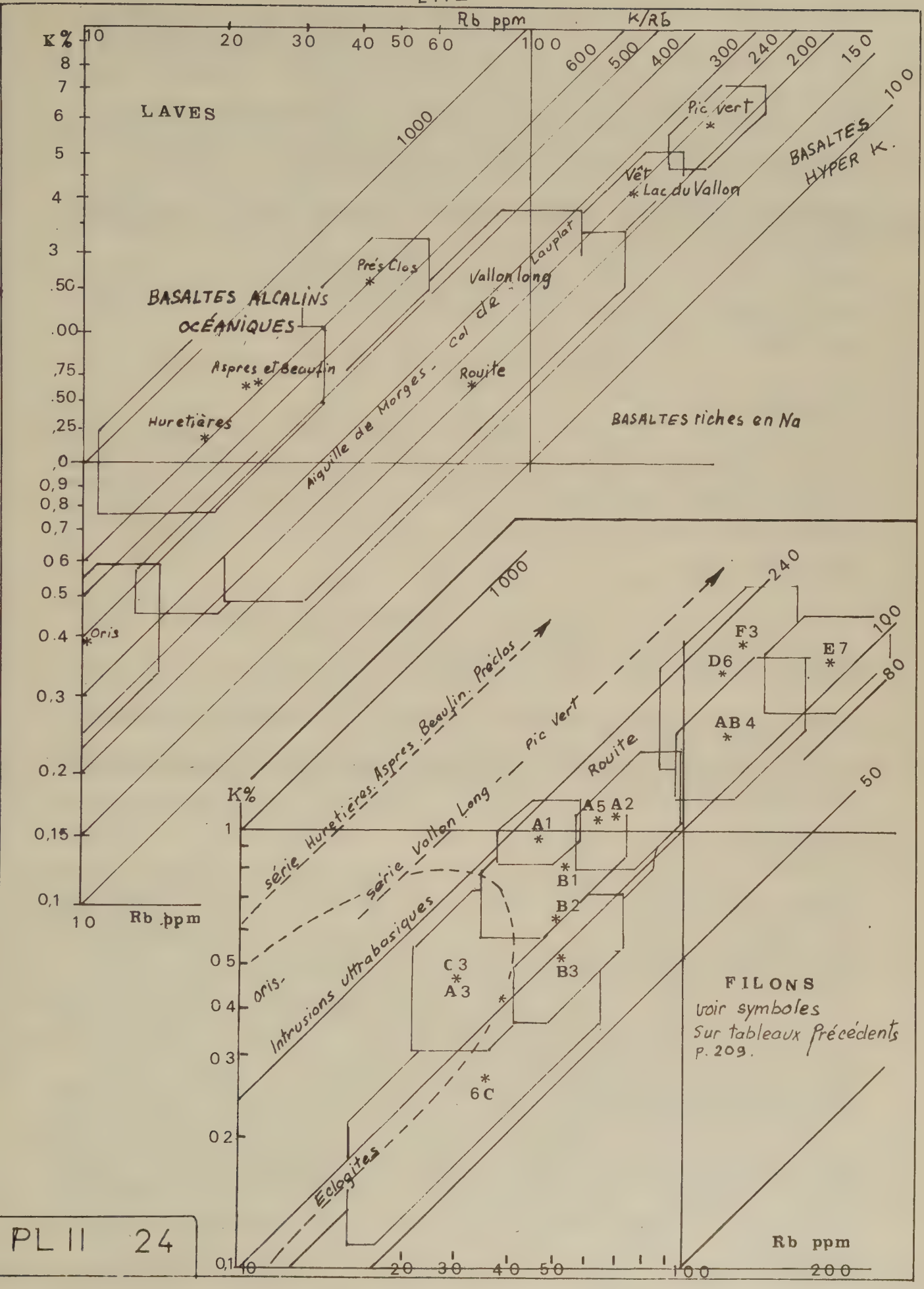
(E. SCHROLL 1968)



UB = ultrabasites
B = basaltes
BA = basaltes alcalins (moyennes)
BA ol. = basalte alcalin à olivine (continental)
Th = Tholéïtes
Th.O = Tholéïte océanique (moyenne)

A = Amphiboles
F = Feldspaths
M = Muscovites
b = biotites

γ = granites
G = granitoïdes
P = pegmatites
S = Syénites


Rb ppm
K/Rb
K%
LAVES
BASALTES ALCALINS OCÉANIQUES
BASALTES riches en Na
BASALTES HYPER K.
Pic vert
Vêt
Lac du Vallon
Pré Clos
Vallon long
Lauplat
Aspres et Beaulin
Rouite
Huretières
Aiguille de Morges - Col de
Oris
série Huretières Aspres Beaulin Préclos
série Vallon Long – Pic Vert
Intrusions ultrabasiques
Eclogites
F3
E7
D6
AB 4
A5 A2
A1
B1
B2
B3
C3
A3
6C
FILONS
voir symboles
Sur tableaux précédents
p. 209.

PL II 24

A chaque partition représentée sur les diagrammes suivants nous avons pointé la moyenne des teneurs en K, en fonction de la moyenne des teneurs en Rb. Nous avons délimité ensuite le rectangle correspondant aux moyennes $\pm$ écart type (les échelles logarithmiques adoptées permettent, compte tenu des distributions lognormales de ces éléments, de le faire en toute rigueur). Nous avons ensuite "ovalisé" ce rectangle en fonction de l'intervalle "moyenne (K/Rb) $\pm$ écart type (K/Rb)". Le domaine de variation Rb/K $\pm$ écart type ne réduit jamais de manière notable le domaine délimité. La bonne coïncidence entre $\frac{\text{moyenne de K}}{\text{moyenne de Rb}}$ et le rapport moyen $\frac{K}{Rb}$ pour une partition donnée montre que ces variables possèdent des distributions normales (20 g médianes = 20 g moyennes).

Les Pl 23 et 24 permettent un certain nombre de remarques :

- les gisements s'étirent préférentiellement sur les droites d'isorapport traduisant ainsi la bonne corrélation linéaire K = f(Rb) malgré l'utilisation des échelles logarithmiques qui tendent normalement à "arrondir" les ellipses de corrélation. Ils sont globalement centrés sur la valeur K/Rb = 240.

a) Les laves. Deux familles de gisements de laves peuvent être discriminées par un rapport K/Rb = 450.

. famille Huretières -Aspres - Beaufin et Prés-Clos à tendance basalte alcalin océanique avec K/Rb $>$ 450 (gisements du Beaumont).

. famille Oris - Vallon Long - Morges - Vêt - Pic Vert et Lac du Vallon à tendance plus continentale avec K/Rb $<$ 450.

. le gisement de la Rouite représenterait le faciès de type franchement continental.

Cette séparation n'apparaissait pas d'après les seules valeurs du Ti, ni même la corrélation K - Ti (cf p.41). Les deux lignées que nous opposons se chevauchent cependant assez nettement et il est possible qu'elles ne correspondaient pas à une réalité paléogéographique au Trias.

- Les faciès plus doléritiques des gisements du Beaumont (cf p.86) préfigurent-ils la subsidence qui sera très nette au Lias, dans cette région ? (au Lias, les faciès calcaires sont réduits par rapport au faciès schisteux, lesquels atteignent plus de 500 m d'épaisseur (APRAHAMIAN (1967)).

- Avec plus de certitude, nous constatons que l'étirement des nuages représentatifs des gisements est préférentiel suivant les droites d'isorapport. Selon SCHROLL (1968) à qui nous devons les données de la Pl II 23 , le rapport 240 est caractéristique des différenciations ultrabasiques.

Les gisements de laves s'étirent donc depuis une tendance nettement ultrabasique (Oris : gisement par ailleurs le plus calcique) vers un pôle alcalin représenté par le Pic Vert.

Les séries du synclinal de Morges représentent un terme moyen recouvrant presque toute la différenciation (Vallon Long, Morges, Lauplat).

Ce centrage sur la valeur K/Rb = 240 est encore plus net si nous considérons que le matériel rhénien est le complément du matériel magmatique.

- En dernier lieu nous constatons qu'aucune tendance vers les "basaltes trachytiques sodiques" apparaît.

b) Les filons. (fig.2 Pl II 24)

La bonne corrélation K - Rb apparaît sur chaque groupe possible. Toutes les partitions géographiques et pétrographiques que nous avons tentées coïncident avec un domaine continental. La position la plus basse correspond aux filons spilitiques du Champoléon, (K/Rb = 80) que l'on est tenté de rapprocher de la tendance la plus "continentale" observée sur les laves de la Rouite.

La grande dispersion de ce groupe, traduit bien la complexité des faciès pétrographiques.

- Les dolérites porphyriques montrent nettement une évolution de type pegmatitique, voir pneumatolytique comme leur faciès minéralogique et structural pouvait le suggérer.

- Remarquons aussi que les minettes du Valbonnais pourraient, à la vue de ce seul diagramme, être considérées comme [illegible] pneumatolytiques. Elles résulteraient alors de l'accentuation des caractères porphyriques. Nous sommes aussi tentés de reconnaître ces caractères dans les laves de la même région. Cependant nous n'avons pas pu mettre en évidence la présence de termes intermédiaires ni avec les dolérites porphyriques, ni avec les faciès laviques.

Les fortes teneurs en Si et Mg et les faibles teneurs en Fe et Ca constituent autant de difficultés pour les intégrer au cortège dolérito-spilitique. En l'absence des indications que pourraient nous apporter les éléments traces (Cu, Co, Cr, Ni) peu variants dans le cortège dolérito-spilitique, nous ne pouvons lever le doute qui subsiste encore. Peut-être ne s'agit-il là, que d'une évolution partielle vers un pôle trachytique voir kératophyrique, dont les termes extrêmes n'ont jamais été observés dans les séries spilitiques alpinotypes ?

2.4.4 - Na ET LA DIFFERENCIATION ALCALINE

2.4.4.1 - Na (Pl II 7)

Malgré une allure très désordonnée des fréquences (tendance trimodale dans les laves et les filons spilitiques) le cortège volcanique basique étudié fait apparaître des valeurs médianes très proches des valeurs moyennes.

Ces valeurs comprises entre 2,2 % Na (filons doléritiques) et 2,8 % Na (laves spilitiques) sont compatibles avec une origine de basalte alcalin à olivine (fig.1 bis Pl II 7). Mais dans l'ensemble elles sont très dispersées. En remarquant

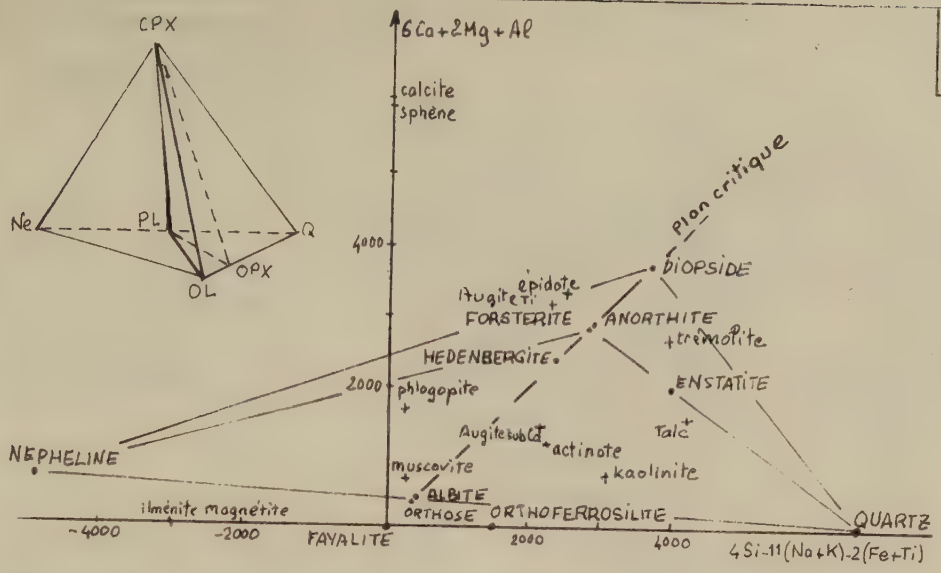
- que la proximité des médianes et des moyennes suggère que les fortes teneurs compensent les faibles valeurs,
- qu'aucune tendance vers les basaltes riches en Na (selon SCHROLL, 1968) n'apparaît malgré l'existence d'une paragénèse albitophyrique généralisée (fig.1 Pl II 24),
- que le diagramme de H.de la ROCHE et LE TERRIER (1973) Pl II 25 fait ressortir que 90 % des échantillons se projettent à gauche du plan critique et que le nuage est remarquablement centré sur la série basaltique alcaline saturée. (Cette représentation résultant de la projection parallèlement au plan critique du tétraèdre de YODER et TILLEY (1962) est particulièrement bien discriminante des différenciations basaltiques).

Nous considérerons par la suite que le matériel étudié est issu d'une composition de basalte alcalin à olivine. Tous les éléments décrits jusque là sont compatibles avec cette origine. On confirme ainsi les observations pétrographiques, relatives à la présence de nodules de péridotites rencontrés préférentiellement dans les séries basaltiques alcalines.

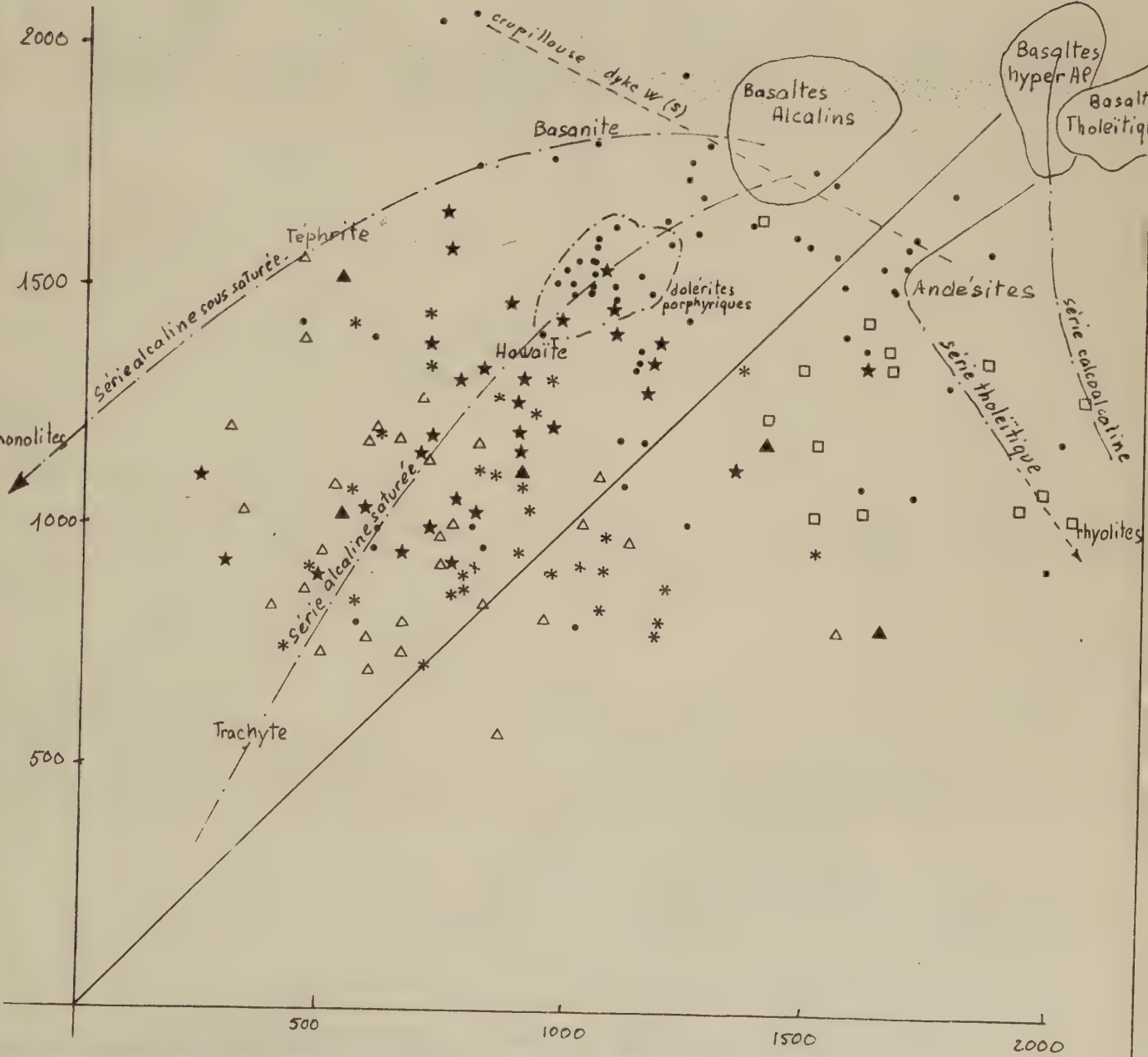
Dans son tableau des basaltes alcalins subdivisés géographiquement, MANSON (1967) fait apparaître que les différenciations continentales sont plus sodiques (2,7 % Na) qu'en milieu océanique (2,2 % Na). Les laves spilitiques des Ecrins-Pelvoux (2,8 % Na) ressemblent donc plus aux premières.

La dispersion de Na se serait alors produite dans un système relativement fermé à l'échelle du gisement, au cours d'une ultime transformation. D'après le diagramme de la Pl II 25, cette transformation étirerait le nuage originel dans une direction perpendiculaire à la lignée alcaline saturée. Cette différenciation est traduite par les éléments alcalins K et Na qui sont très variants par rapport aux autres éléments qui interviennent dans les paramètres de la représentation.

PL. II 25

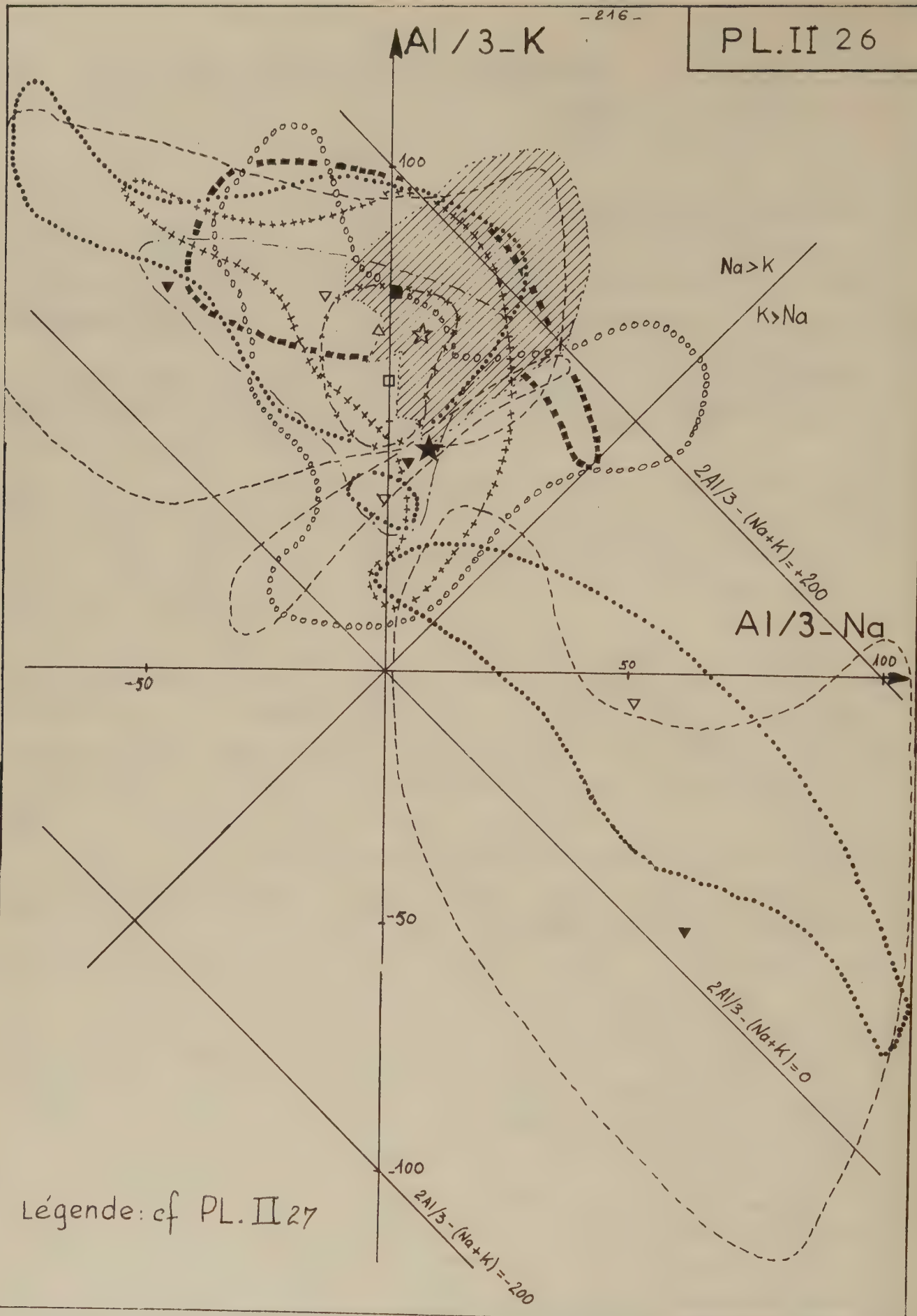


* gisements du Beaumont
▲ Oris en Rattier
★ Synclinal de Morges et Rouite
△ Lac du Vallon. Vét. Pic Vert. Roch
● filons dolérito spilitiques
□ kersantites et minettes



Projection du tétraèdre de YODER et TILLEY:
diagramme chimique de H. de la ROCHE 1973

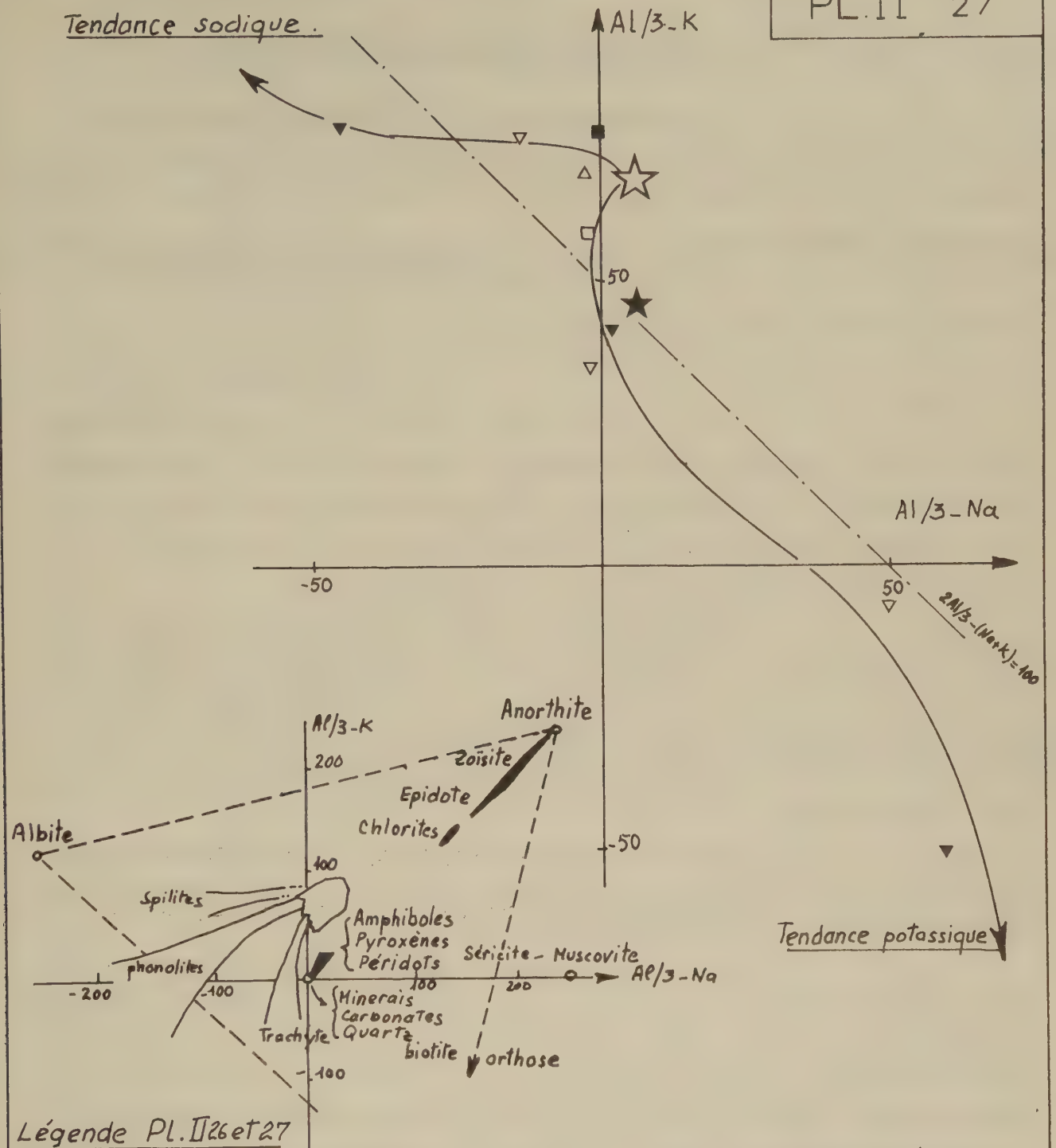
PL. II 26



Légende: cf PL. II 27

Position de l'ensemble dolérito-spilitique des Ecrins-Pelvoux dans le diagramme de H. de la ROCHE, 1968

PL. II 27



Légende Pl. II 26 et 27

Filons (92 échantillons)

- ☆ 15 dolérites s. str. +++++
- ■ 14 dolérites ophitiques ■■■■■
- △ 9 dolérites microcristallines à amphibole —·—·—·—
- □ 13 dolérites porphyriques —+—+—
- ★ 13 dolérites à chlorite ○○○○
- ▽ 28 spilites. •••••
  - sodiques 14
  - équilibrées 4
  - potassique 10

LAVES (125 échantillons)

- ▼ sodiques 85
  équilibrées 6
  potassiques 34

- Les symboles correspondent au barycentre représentatif de la partition considérée
- Les limites englobent tous les points représentatifs de la partition considérée

Evolution des groupes dolérito-spilitiques dans le diagramme de H. de la ROCHE 1968

2.4.4.2 - VARIATION SIMULTANEE DES ALCALINS K et Na

La représentation de H.de la ROCHE (1968), (Al/3 - K ; Al/3 - Na) est particulièrement discriminante du phénomène de dispersion des alcalins K et Na. Elle fait apparaître (Pl II 26 et 27) trois groupes de roches suivant les teneurs en Na :

- Un groupe sodique (Na $>$ 2,4 g/100 g de roche) échantillons par ailleurs peu potassiques
- Un groupe potassique (Na $<$ 2,2 g/100 g de roche
  K $>$ 2 g/100 g de roche)
- Un groupe à égale teneur en K et Na, peu représenté, que l'on peut considérer comme une zone de concentration dûe au chevauchement des deux ensembles précédents. Nous individualisons toutefois ce groupe car il fait ressortir un domaine d'équilibre, et il traduit le mode médian de l'histogramme des fréquences de Na.

Cette représentation conserve sans la déformer, malgré l'intervention de Al, la très bonne corrélation négative K - Na et permet de visualiser cette liaison qui est plus nette dans les faciès spilitiques que dans les filons doléritiques moins dispersés.

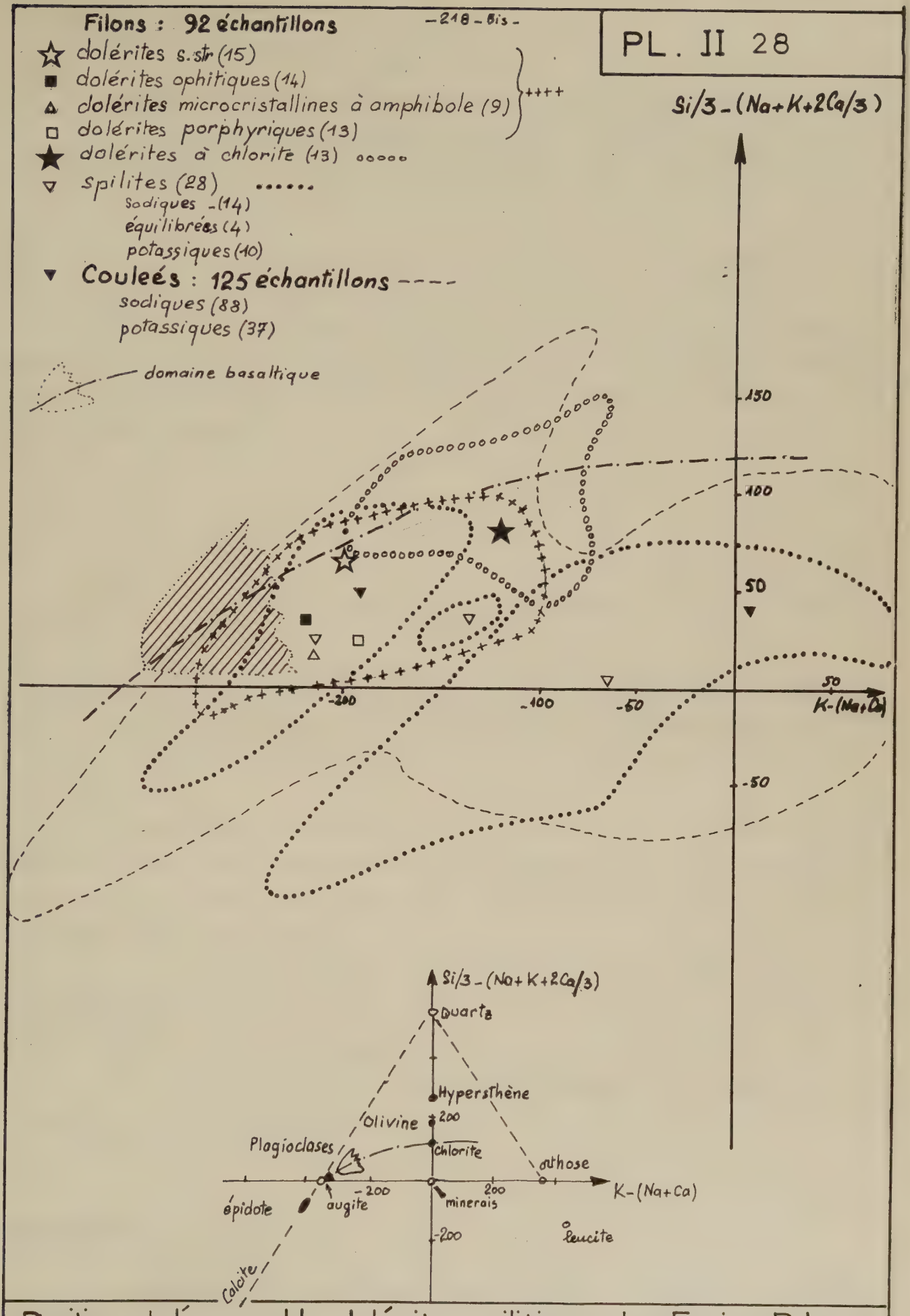
Cette corrélation est à mettre en parallèle avec la série albite-orthose (Pl II 27).

Dans les filons cet étirement moins important pourrait aussi s'interpréter à l'aide de l'influence du pôle carbonates, quartz et minerais apparaissant au centre de la représentation.

Les laves potassiques correspondent préférentiellement aux sommets de coulées, voir au sommet de gisement. A cet égard il est utile de préciser que le gisement du Vêt, qui apparaissait comme très potassique n'a été échantillonné que dans sa partie supérieure (cf. Pl II 24 et description pétrographique (page 23). En contrepartie, les laves sodiques n'apparaissent pas aussi nettement à la base des gisements. La relation Na = f (K) déterminée dans les corrélations est peut être trop schématique. Nous avons alors calculé la corrélation (K + Na) = f (K). Elle fait apparaître un coefficient proche de 0,8 pour une droite de régression d'équation (K + Na) = 0,53 K + 3,6.

Cette équation que l'on peut écrire sous la forme K = - 2 Na + 7,7 est peu différente de celle que nous aurions pu calculer directement à partir des teneurs en K et Na. Elle a cependant le mérite de faire apparaître que la somme K + Na peut être considérée comme une fonction croissante de la teneur en K prise isolément.

PL. II 28



Position de l'ensemble dolérito-spilitique des Ecrins-Pelvoux dans le diagramme de H. de la ROCHE - 1963

Réciproquement, la régression (K + Na) = f (Na) fait apparaître un coefficient négatif.

A titre d'illustration, nous avons établi le diagramme K - (Na + Ca) ; Si/3 - (K + Na + 2 Ca/3) (P1 II 28).

Les mêmes observations peuvent être faites à son sujet (parenté avec les basaltes alcalins, dispersion des laves et filons spilitiques de part et d'autre de cette évolution) mais la discrimination des groupes apparaît moins nettement.

2.4.5 - Li (P1 II 14)

Les teneurs en Li sont deux fois plus fortes que dans les moyennes basaltiques.

Li apparaît assez nettement corrélé dans l'ensemble à C mais à l'échelle du gisement une corrélation Li - K et Li - H apparaît assez nettement. Ces dernières ressortirons mieux dans les facteurs de l'Analyse en Composante Principale Normée qui permet dans les cas favorables de décomposer les corrélations complexes.

La corrélation Li - C suggère l'apparition d'un carbonate de Li. MARSHALL et col. (1964) ont observé que Li HCO_3 pouvait entraîner le même effet de sel que Na Cl, (même en concentrations nettement inférieures), dans l'état du système CO_2 - H_2O. Cet effet de sel,

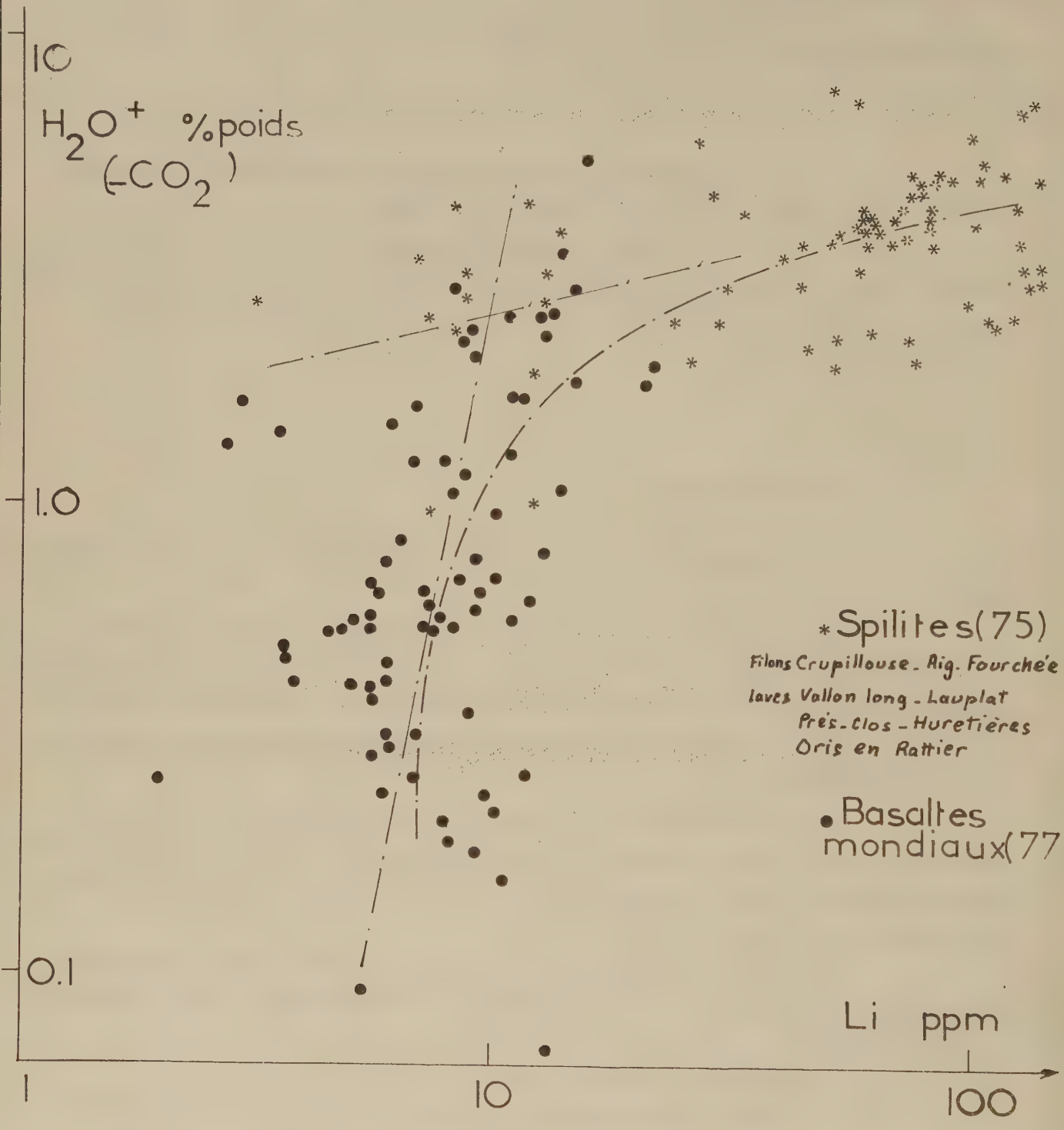
- relève les conditions critiques de l'eau et par conséquent il peut jouer pour augmenter les températures de cristallisation dans les systèmes hydrothermaux,
- favorise la précipitation de la calcite.

Il n'est donc pas exclu que Li soit intervenu pour donner aux carbonates leur caractère de haute température (cf p.206).

ORIGINE DE Li

Les gisements potassiques sont les plus lithinifères. Cette constatation, mise en parallèle avec la tendance "pegmatique", voir "pneumatolytique"

PL. II 29



Corrélation Li / H_2O^+ dans les faciès spilitiques (Pelvoux) et les basaltes (mondiaux) - données D.M. SHAW -

renforce l'idée émise sur le rôle joué par les phases fluides dans les différenciations du magma basique triasique du Massif des Ecrins-Pelvoux.

D.M.SHAW a eu l'amabilité de nous communiquer un diagramme (Pl II 29) où figure un certain nombre de données complémentaires à sa publication (SHAW, VATIN-PERIGNON, 1972).

L'interpénétration du domaine basaltique général et du domaine spilitique étudié, permet d'envisager une différenciation, à partir d'une origine commune aboutissant à une concentration considérable en Li dès que l'on atteint des teneurs en eau proche de la saturation. Ce graphique permet d'envisager, outre la possibilité de contamination magmatique par un matériel sialique, une surconcentration qui suivrait des lois analogues à celles qui aboutissent à la formation des pegmatites lithinifères. Dans ces dernières, il apparaît concentré dans les minéraux hydratés ou d'origine hydrothermale (micas, fluorine, tourmaline, chlorite, phosphates (HEIER et BILLINGS, 1969)).

Li pourrait être assez abondant dès un premier stade de cristallisation des minéraux ferromagnésiens, car on le rencontre aussi dans les olivines et les pyroxènes des gabbros du Skergaard (PEACOR, 1972). Ce dernier décrit une série de réactions qui tendrait à montrer que Li peut se concentrer en même temps que Mn par altération de ces roches sous forte pression de fluides, principalement p_{HCl}. (Rappelons que le rôle du chlore n'est pas non plus à négliger dans les systèmes hydratés (HELGESON, 1970)).

- Si l'on rapproche les teneurs en Li de celles de P (dosé sur quelques échantillons) on remarque, en première approximation que Li est bien corrélé à P (P dans les laves spilitiques des Ecrins-Pelvoux a une moyenne voisine de 0,4 % P_2O_5 ; dans les filons doléritiques (0,5 % P_2O_5) les dosages atteignent 0,9 % dans les faciès porphyriques. Dans les minettes du Valbonnais la moyenne de P de 6 échantillons est de 1,5 % P_2O_5).

Les rapports $\frac{Li}{Mn}$ et $\frac{Li}{P}$, (en nombre d'atomes), sont voisins de 1. Les nombres d'atomes de Li, Mn et P sont donc identiques. Cette condition est réalisée dans la lithiophilite (Li Mn PO_4), minéral abondant dans les gîtes lithinifères et phosphatés, à caractères pegmatitiques et pneumatolytiques (POUGH, 1969). La détermination de ce minéral dans nos échantillons confirmerait une concentration en Li d'origine pneumatolytique. Dans un stade hydrothermal ultérieur ce minéral aurait été détruit et Mn et Li libérés se seraient retrouvés associés aux carbonates.

Cette succession de suppositions suggère un modèle de différenciation complexe, apparenté aux stades de cristallisation des magmas granitiques en fonction des variations de la pression des éléments volatils (Modèle de NIGGLI, 1923). Cette hypothèse sera discutée d'une manière synthétique dans la troisième partie.

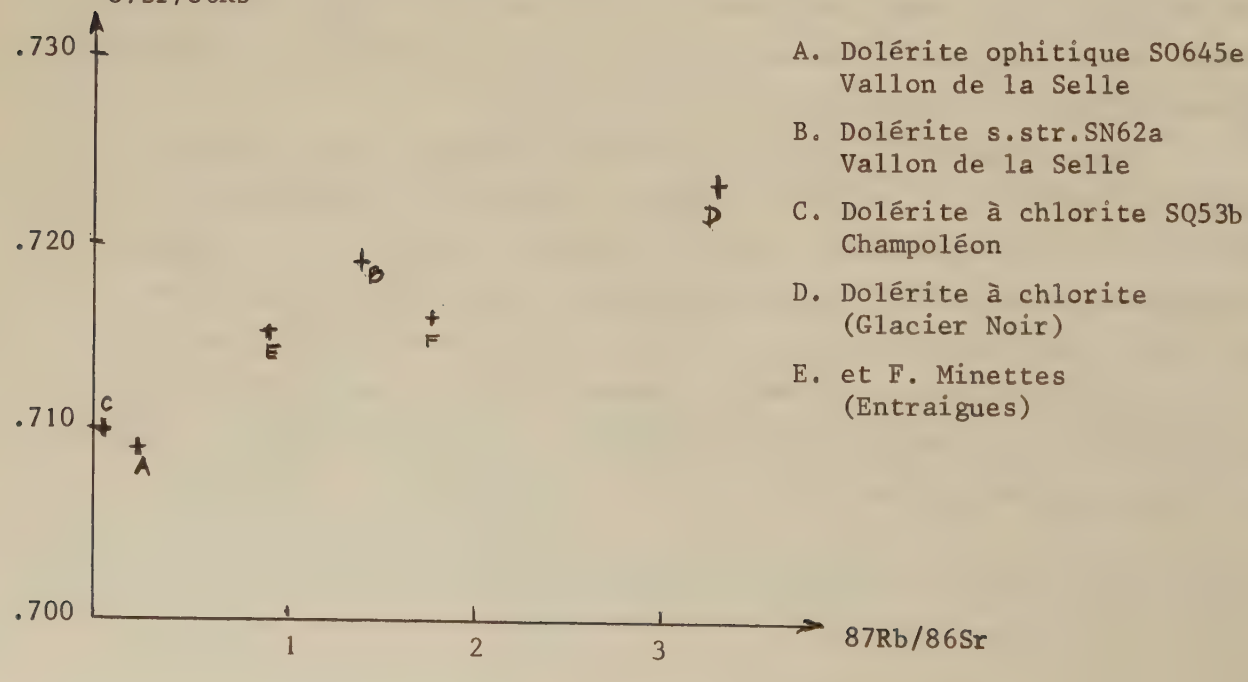
2.4.6 - Rb, Sr et Tl

2.4.6.1 - LES RAPPORTS ISOTOPIQUES DE Rb ET Sr.

Ces rapports isotopiques ont été mesurés à Clermont-Ferrand, grâce à l'obligeance d'Y.VIALLETTE. Ces mesures concernent quelques échantillons provenant de l'ensemble intrusif de la Selle. Les résultats présentent des variations assez désordonnées, et ces dosages sont trop peu nombreux et disparates (échantillons non prélevés à cet effet) pour avoir une signification géochronologique.

Il est néanmoins à remarquer que les 2 échantillons de minettes du Valbonnais ne présentent pas une position aberrante par rapport aux 4 autres échantillons. Parmi ceux-ci, les deux qui présentent un rapport 87 Rb/86 Sr proche de 0 suggèrent un rapport initial 87 Sr/86 Sr inférieur ou égal à 0,710. Cette valeur serait compatible avec une origine profonde du matériel dolérito-spilitique (différenciation à partir du manteau).

Le domaine de variation du rapport Rb/Sr est cependant suffisant pour espérer qu'une étude ultérieure permette de tracer une isochrone sur l'ensemble dolérito-spilitique étudié.



A. Dolérite ophitique SO645e
Vallon de la Selle

B. Dolérite s.str.SN62a
Vallon de la Selle

C. Dolérite à chlorite SQ53b
Champoléon

D. Dolérite à chlorite
(Glacier Noir)

E. et F. Minettes
(Entraigues)

2.4.6.2 - LE RAPPORT Rb/Tl

D.M. SHAW a eu l'amabilité de nous communiquer les résultats de 73 dosages de Tl effectués sur les coulées spilitiques de Prés-Clos, Oris, Huretières et Vallon Long et sur l'ensemble Crupillouse, Aiguille Fourchée. Les dosages effectués dans son laboratoire à l'Université Mc.Master sont traduits dans le diagramme (Pl II 30) (reproduit in extenso).

Il en ressort une très bonne corrélation positive et centrée entre les rapports Rb/Tl = 65 et Rb/Tl = 400. Nous pouvons aussi constater la remarquable analogie des filons et des laves spilitiques du Massif des Ecrins-Pelvoux avec les intrusions plutoniques continentales.

2.4.6.3 - Sr (Pl II 13)

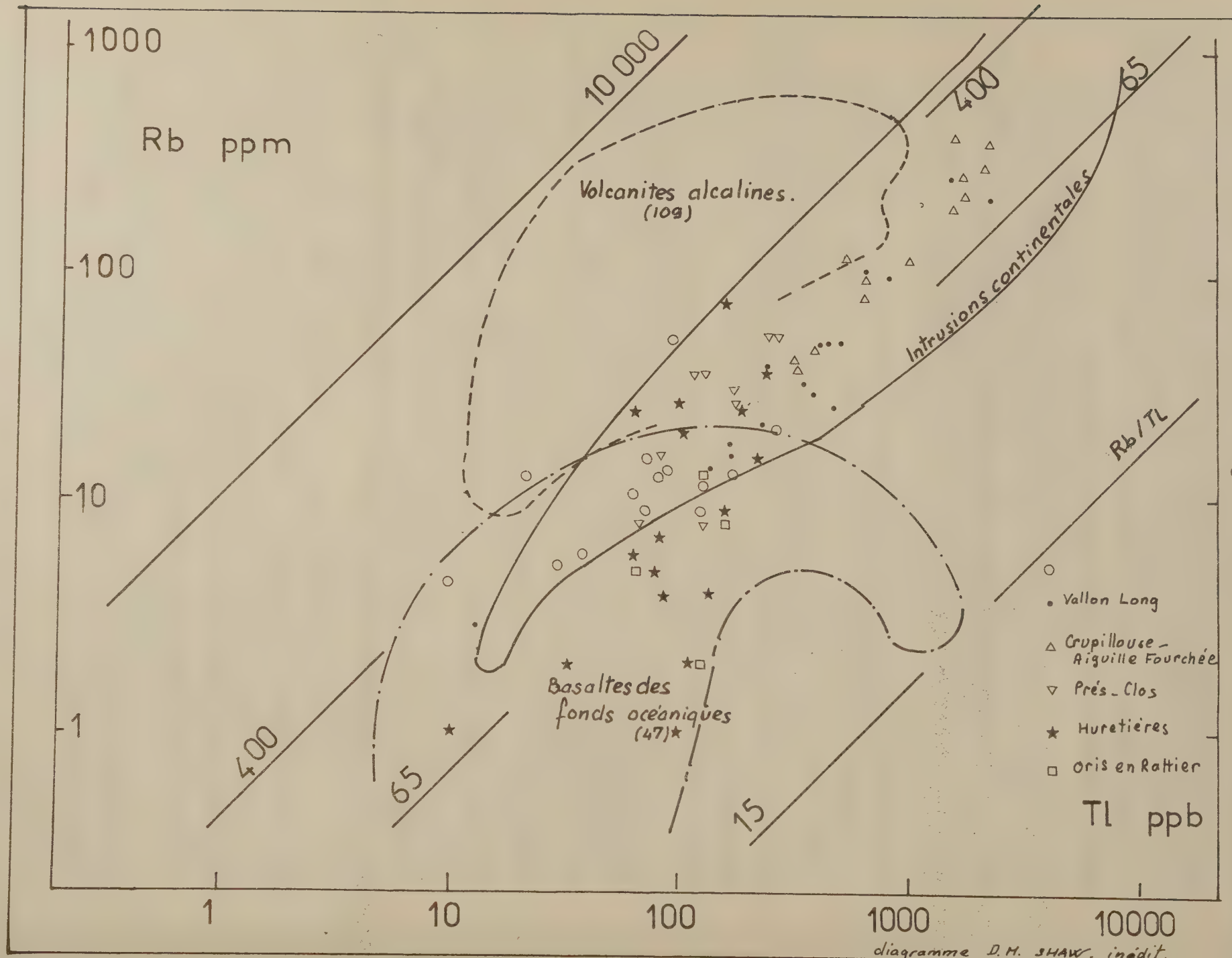
La concentration de Sr, bien que toujours inférieure, est proche des teneurs basaltiques. Sa distribution dans les laves est très nettement lognormale. Sr apparaît corrélé à Si et surtout à Na, et l'on suppose qu'il est en grande partie dans l'albite.

Nous avons reporté, pour chaque gisement lavique ou filonien les teneurs de Sr en fonction de Rb et de Ca. Ces diagrammes sont l'objet d'une publication en cours de rédaction et ne seront pas reproduits ici. Nous nous contenterons de résumer les principales observations et de les condenser sur la Pl II 31.

- Au niveau de chaque gisement Sr apparaît presque toujours corrélé positivement à Ca, ceci d'autant plus que le gisement est sodique (au sens de moins potassique); Cependant dans l'ensemble le plus général (tous les gisements) une corrélation négative apparaît comme dans les roches basaltiques, avec une qualité toutefois très médiocre (r compris entre 0,2 et 0,4).

- Sr apparaît, à l'inverse des roches basaltiques, moins variant que Ca et de ce fait le couple Ca - Sr est réparti, au niveau du gisement, comme dans les évolutions diorito-granitiques, voir dans les différenciations carbonatées (selon les données de SCHROLL, 1968). Ceci peut s'interpréter à l'aide de deux mécanismes différents.

a) Soit le couple Ca/Sr évolue suivant les lois de cristallisation des magmas granitiques, avec éventuellement une influence de la variation quantitative des carbonates en fin de cristallisation.



Corrélation Rb/Tl dans les laves spilitiques du Pelvoux et les roches ignées

PL II 30

PL II 31

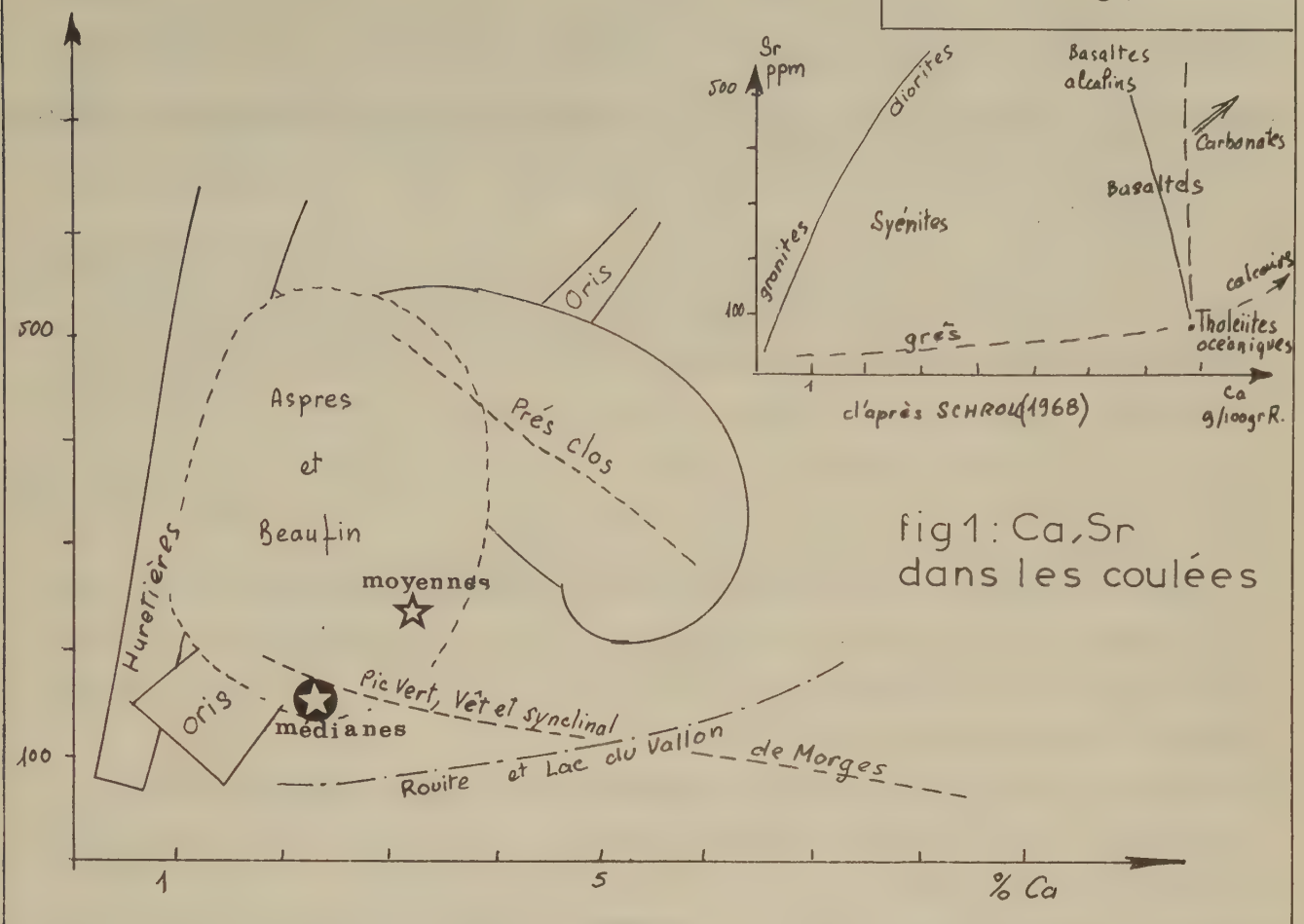


fig 1 : Ca, Sr dans les coulées

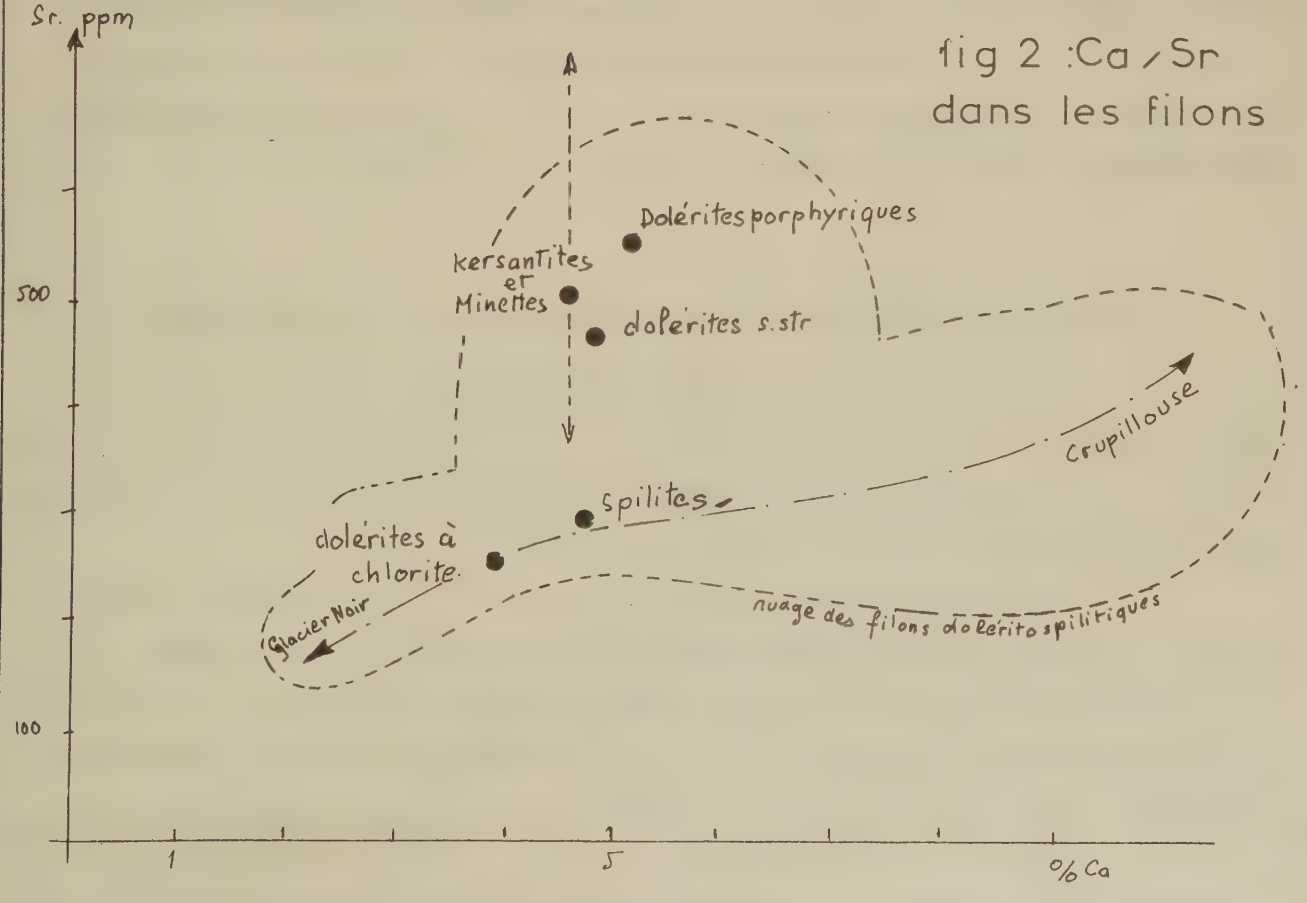


fig 2 : Ca / Sr dans les filons

b) Soit, à partir d'un basalte, une transformation de métamorphisme entraîne une perte de Ca (véhiculé sous forme de carbonates) accompagné d'une partie de Sr. Dans ce cas Sr et Ca devraient être liés antérieurement dans les mêmes structures minérales (Feldspaths calciques) et libérés sélectivement (plus de Ca libéré que de Sr) au cours de la même phase de transformation.

En supposant que Sr ait été piégé dans les feldspaths les plus calciques, premiers cristallisés, puis déstabilisés à la suite de réaction de substitutions échelonnées tout au long de l'évolution du liquide magmatique vers un pôle albitique, on pourrait ainsi expliquer la bonne corrélation Na - Sr, résultante dans le matériel silicaté (souvent dominante) et la corrélation positive Ca - Sr (souvent masquée par un échantillonnage trop vaste). Cette hypothèse serait conforme à l'éventualité (a).

Dans l'éventualité (b) seule une perte sélective de Ca par rapport à Sr peut aboutir au même état final. Il faut alors invoquer les différences de solubilité entre les carbonates de Sr et Ca, décrites dans les systèmes hydrothermaux (HOLLAND, 1967).

Une telle différenciation hydrothermale peut être réalisée au cours de l'altération du magma par des fluides deutériques, ou par une phase hydrothermale d'un métaphorphisme ultérieur.

Nous verrons dans la discussion générale (IIIe partie) que ces deux influences : - mode de cristallisation très évolué
- altération deutérique

peuvent être intimement liées et qu'au cours d'une phase hydrothermale du métamorphisme alpin, ce phénomène peut encore être prolongé.

2.4.7 - LES ELEMENTS TRACES PEU VARIANTS (Cr - Ni - Cu - Co) (Pl II 14)

Alors que les teneurs en Cu et Co sont tout à fait compatibles avec les teneurs basaltiques, les teneurs en Cr et Ni sont anormalement élevées et sont sensiblement plus fortes dans les filons doléritiques que dans les laves spilitiques.

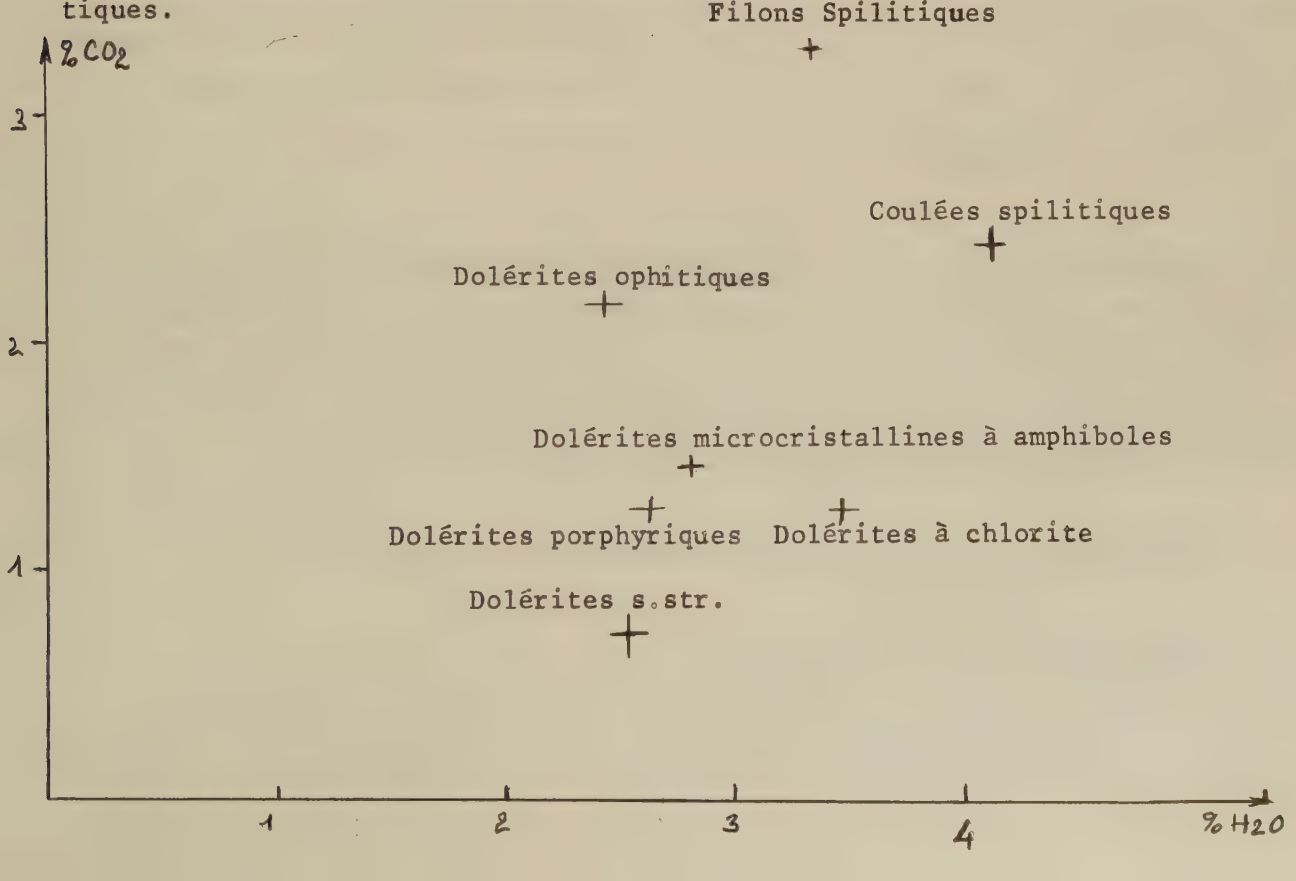
Les fortes teneurs en Ni se rencontrent habituellement dans les magmas d'origine profonde, et sont liées à la richesse en olivine (PARK, 1973). Celles que nous observons sont donc compatibles avec la présence de nodules de péridotites (enclaves de dunites cf p.137) remontées au cours de l'ascension d'un magma de type basalte alcalin à olivine.

Dans les formations doléritiques la présence de fantômes d'olivines reste exceptionnelle, mais des agglomérats à pyroxène-chlorite laissent parfois prévoir leur existence dans les premiers stades de cristallisation. Dès lors, en attribuant à Ni le rôle de traceur pour ce minéral, on suppose dans ces roches, dans un premier stade, une cristallisation d'olivine, qui aurait ensuite subi une fusion incongruente en pyroxène. Un tel mécanisme est tout à fait compatible avec les transformations décrites dans tous les systèmes de cristallisation silicatés, à partir d'une composition de basalte alcalin à olivine (par exemple YODER et TILLEY, 1962).

2.4.8 - ROLE DIFFERENTIEL DES ELEMENTS VOLATILS AU NIVEAU DES GROUPES PETROGRAPHIQUES (P1 II 10 et 11)

Ces éléments sont très abondants et les critères pétrographiques que nous avons retenus dans les groupes filoniens sont assez bien discriminés par les teneurs en éléments volatils H et C.

Dans les filons spilitiques l'abondance de calcite est traduite par une forte teneur en C. Les teneurs en eau, traduites par H, croissent d'une manière continue des faciès doléritiques filoniens vers les faciès spilitiques.



2.5 - SYNTHESE ET BILAN DES PRINCIPALES OBSERVATIONS GEOCHIMIQUES ISSUES DE LA STATISTIQUE MONO ET BIVARIABLE

- Eléments peu variants

1er groupe. (Ti, Fe, V) indépendant des autres éléments. Les fortes teneurs en Ti et V, bien centrés sur les roches basaltiques, sont cependant éloignées des séries tholéiitiques.

2ème groupe. (Si, Al, Mg)

Al est invariant dans les filons doléritiques mais s'enrichit d'une manière désordonnée avec les faciès spilitiques. Si apparaît opposé à Ca, et ses faibles teneurs (inférieures à 50 % SiO_2) nous éloignent des caractères tholéiitiques. Mg apparaît sensiblement corrélé négativement à Ca dans les filons, mais ne lui est plus du tout corrélé au niveau des laves.

Les teneurs moyennes de ces trois éléments sont compatibles avec une origine de basalte alcalin à olivine.

Les éléments traces Co et Cu très peu variants confirment la parenté basaltique sans apporter d'élements nouveaux.

Cr et Ni en revanche, sont anormalement abondants et suggèrent une différenciation à partir d'un matériel d'origine profonde.

- Eléments variants :

La répartition de Ca dans l'évolution (Ca, Mg) laisse prévoir une diminution anormale, sa corrélation avec C permet d'envisager une différenciation carbonatée. La liaison qui existe entre les gîtes de carbonates et la répartition des faciès pétrographiques nécessite une apparition de calcite synchrone (au moins partiellement) de la mise en place du réseau intrusif.

Les teneurs en Mn sont liées aux migrations de carbonates.

Les alcalins - K, Na, Rb, Li.

les teneurs moyennes en alcalins, à l'exception de Li très abondant, confirment la parenté avec les basaltes alcalins à olivine. Mais sur les dia-

grammes de différenciation géochimique le cortège dolérito-spilitique du Massif des Ecrins-Pelvoux s'écarte considérablement (au niveau de chaque partition pétrographique) des lignées alcalines classiques.

La différenciation se place à la charnière entre un milieu continental et un milieu océanique et le rapport K/Rb apparaît le plus discriminant pour séparer les différentes tendances. L'évolution est à dominante continentale. Seuls les faciès doléritiques des laves de la région du Beaumont montre une tendance océanique.

K/Rb et Rb/Tl, sont compatibles avec une origine à partir d'intrusion de type ultrabasique.

Les éléments volatils H et C

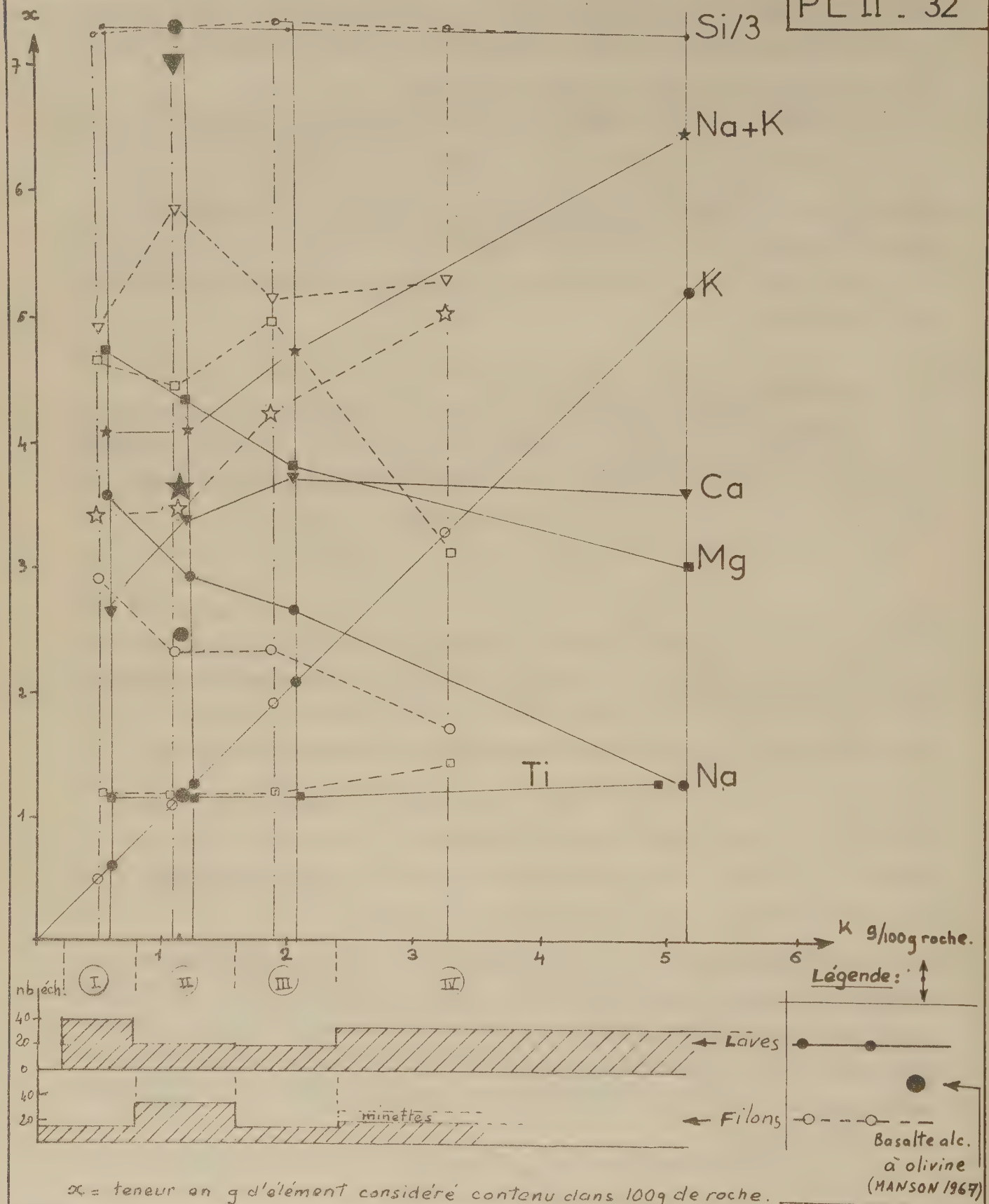
CO_2 apparaît plus variant que H_2O dans les différents groupes. Le rôle complexe de ces composés ne peut que difficilement être expliqué par l'analyse sommaire que nous avons présenté ici et l'analyse statistique multivariable permet de le faire d'une manière plus rigoureuse.

BILAN : Il existe aucune somme de critères pouvant discriminer nettement la souche magmatique originelle des laves et filons du Massif des Ecrins-Pelvoux. Cependant, en procédant par élimination on peut dire que la série dolérito-spilitique ne présente pas d'affinité avec les souches tholéiitiques et que les ressemblances avec les souches alcalines saturées sont assez nettes.

- En retenant la valeur de K, élément très variant, comme particulièrement discriminante, nous pouvons résumer graphiquement les variations des autres éléments, en classant les roches en quatre groupes fonctions des teneurs en K : ($K < 0,8$; $0,8 < K < 1,6$; $1,6 < K < 2,4$; $K > 2,4$)

Ces groupes correspondent approximativement aux différentes classes basaltiques habituelles ; tholéiites, basaltes alcalins peu potassiques, basaltes alcalins potassiques, basaltes hyperpotassiques, et sont totalement indépendants des partitions pétrographiques ou géographiques que nous avons retenues. Cette représentation n'a d'autre objectif qu'une synthèse graphique des variations des éléments majeurs.

PL II . 32



x = teneur en g d'élément considéré contenu dans 100g de roche.

Variations des principaux éléments en fonction de K dans le cortège doléritos/spilitique des Ecrins / Pelvoux

3. - ETUDE STATISTIQUE MULTIVARIABLE DES VARIATIONS DE COMPOSITION CHIMIQUE DE DE L'ENSEMBLE DOLERITO-SPILITIQUE DU MASSIF DES ECRINS-PELVOUX.

3.1 - PRESENTATION TECHNIQUE DES ANALYSES EFFECTUEES

3.1.1 - NOMENCLATURE DES TABLEAUX ANALYSES (MATRICES DE DONNEES)

Le tableau de mesure le plus complet n'a jamais été entièrement analysé. 8 partitions de ce tableau ont été retenues. Le schéma ci-dessous permet de faire la correspondance entre les matrices de données, successivement analysées, et la nomenclature adoptée.

Si,Al,$Fe^{3+(t)}$,Mg,Ca,Na,K,Ti,Mn,H,C,O Ba,Co,Cr,Cu,Ni,Sr,V,Li,Rb

Laves (classées par gisements)	(1)	(2)
Filons dolérito-spilitiques	(3)	(4)
Kersantites et minettes	(5)	

(1) = analyse (L)
(1) + (2) = analyse (L)'
(3) = analyse (D)
(3) + (4) = analyse (D)'
(3) + (5) = analyse (F)
(1) + (3) = analyse (DS)
(1) + (3) + (2) + (4) = analyse (DS)'
(1) + (3) + (5) = analyse (LF)

- Comme dans les analyses de grappes les initiales correspondent aux ensembles pétrographiques suivants :

L = Laves

S = Spilites

D = Dolérites

F = Filons basiques

- Le signe ' (prime) signifie que le tableau de données analysées prend en considération les 21 éléments dosés (12 majeurs et 9 en traces) dans la liste de caractères retenus.

3.1.2 - TYPE D'ANALYSE STATISTIQUE MULTIVARIABLE ADOPTEE

Nous avons effectué, à l'aide du programme de calcul "ANALYSE" de l'IMSS (1) une analyse en composantes principales normées (ACPN). Cette technique permet d'obtenir en premier lieu la matrice symétrique des coefficients de corrélation linéaire des éléments chimiques pris deux à deux. Elle est identique à la matrice (VARIANCE - COVARIANCE) calculée à partir d'un tableau de données dans lequel la valeur d'un caractère Xj est mesuré à l'aide de l'unité σ(Xj). A l'aide des 5 premières valeurs propres de cette matrice (2), le programme extrait ensuite les 5 premiers facteurs indépendants ou combinaisons linéaires de variance maximale (Système VARIMAX) et non corrélées entre elles. Les échantillons et les variables sont ensuite projetés orthogonalement dans les repères rectangulaires associés aux facteurs pris deux à deux.

Le choix de ce type d'analyse permet surtout (grâce à la pondération σ(Xj)) de comparer sur un même pied d'égalité des éléments traces avec des éléments majeurs, et de visualiser (par la projection des variables) les principales corrélations entre éléments chimiques apparaissant au niveau de chaque facteur.

Dans cette analyse, l'influence d'un élément chimique dont les variations ne seraient dûes qu'à une mauvaise précision de mesure serait moindre que dans une ACP simple.

---

(1) IMSS = Informatique et Mathématiques en Sciences Sociales
Bât.CETA BP.53 - 38041 GRENOBLE-CEDEX

(2) Les aspects mathématiques et géométriques de l'ACPN et des analyses statistiques multivariables sont résumés dans le N° 24 de la série Documentation de l'Institut Dolomieu (G. BUFFET, 1973).

Dans les cas extrêmes un facteur opposant un tel élément indifféremment à tous les autres, peut cependant apparaître. Mais connaissant les méthodes de dosage, il serait alors facile de savoir si ce facteur représente une dispersion accidentelle ou un phénomène géologique indépendant des autres transformations et n'affectant que cet élément. La représentation graphique des échantillons discriminés par un tel facteur facilitera aussi grandement l'interprétation. Dans chaque analyse effectuée sur notre échantillonnage 5 facteurs suffisent à expliquer 80 % de la variance, et l'éventualité mentionnée ci-dessous ne s'est jamais présentée. Il est cependant probable qu'elle intervienne dans les 7 ou 16 facteurs (suivant que l'analyse porte sur 12 ou 21 caractères) que l'on aurait pu extraire pour une explication totale de la variance du système.

3.1.3 - RESULTATS BRUTS DES DIFFERENTES ANALYSES

Nous retenons comme significative l'intervention d'une variable au niveau d'un facteur que si le carré de la corrélation qu'elle présente avec ce dernier est supérieur à 0,16 (limite correspondant à un coefficient de corrélation égal à $\pm$ 0,4).

3.1.3.1 - ANALYSES SUR LES LAVES SEULES

a) 12 caractères (éléments majeurs), 102 échantillons (P1 II 33 Tb 1)

- Le premier facteur oppose fortement le groupe (Al, Si, Na) au groupe C, Ca et accessoirement K.

La bonne corrélation entre C et Ca est presque entièrement expliquée par ce facteur qui discrimine près de 30 % des variations de l'ensemble étudié.

- Le second facteur oppose Fe et K au groupe O, Mg, H. (auquel se joint en partie Na).

- La qualité de la représentation diminue notablement au niveau des trois autres facteurs qui n'expliquent respectivement plus que 12, 10 et 8% de la variance.

PROJECTION ET QUALITÉ DE LA REPRÉSENTATION DES COMPOSANTES DANS LES ANALYSES SUR LES LAVES SEULES

(le nombre entre parenthèses représente le carré de la corrélation avec le facteur associé à l'axe considéré.)

AXES :	1	2	3	4	5
1	CA = -0.9210 (0.8482)	K = -0.7121 (0.5070)	NA = -0.5446 (0.2966)	K = -0.4564 (0.2083)	FE = -0.3907 (0.1526)
2	C = -0.8570 (0.7345)	FE = -0.5574 (0.3568)	SI = -0.5346 (0.2852)	H = -0.3518 (0.1238)	MG = -0.3438 (0.1182)
3	K = -0.4240 (0.1798)	AL = -0.2828 (0.0799)	CA = -0.1274 (0.0162)	SI = -0.2881 (0.0828)	MN = -0.1637 (0.0269)
4	MN = -0.3615 (0.1307)	SI = -0.2481 (0.0614)	C = -0.1084 (0.0117)	O = -0.2031 (0.0410)	NA = -0.0283 (0.0008)
5	TI = -0.0735 (0.0054)	TI = -0.2381 (0.0567)	MN = -0.0001 (0.0000)	C = 0.0460 (0.0021)	ST = -0.0141 (0.0002)
6	O = 0.1755 (0.0306)	MN = 0.0484 (0.0023)	AL = 0.0176 (0.0003)	AL = 0.0556 (0.0031)	H = 0.0018 (0.0000)
7	FE = 0.2347 (0.0551)	CA = 0.2370 (0.0562)	O = 0.0535 (0.0028)	CA = 0.1199 (0.0144)	CA = 0.0365 (0.0013)
8	MG = 0.3429 (0.1176)	C = 0.3885 (0.1509)	K = 0.2186 (0.0478)	MG = 0.1293 (0.0167)	K = 0.1178 (0.0139)
9	H = 0.3911 (0.1529)	NA = 0.4348 (0.1890)	FE = 0.3051 (0.0931)	MN = 0.3047 (0.0928)	C = 0.1894 (0.0359)
10	NA = 0.5278 (0.2786)	H = 0.4971 (0.2471)	TI = 0.4072 (0.1658)	FE = 0.3694 (0.1364)	O = 0.3206 (0.1021)
11	SI = 0.6456 (0.4173)	MG = 0.5874 (0.3451)	MG = 0.4808 (0.2312)	NA = 0.4113 (0.1692)	AL = 0.4935 (0.2435)
12	AL = 0.6509 (0.4235)	O = 0.8182 (0.6551)	H = 0.5837 (0.3407)	TI = 0.5658 (0.3201)	TI = 0.5749 (0.3303)
VARIANCE EXPLIQUÉE	28.11	22,67	12.42	10.09	8.55
CUMULÉ	28.11	50.78	63.20	73.29	81.84

nombre d'échantillons analysés : 102 - Analyse "L" : Laves incluses dans la série sédimentaire triasique et liasique du massif des Ecrins. Pelvoux.

1	K = -0.8623 (0.7436)	SI = -0.6972 (0.4950)	O = -0.7674 (0.5859)	NA = -0.5704 (0.3254)	CU = -0.6236 (0.3889)
2	RB = -0.8003 (0.6412)	AL = -0.6217 (0.3864)	H = -0.5618 (0.3156)	SR = -0.4903 (0.2404)	AL = -0.4108 (0.1687)
3	BA = -0.5983 (0.3580)	SR = -0.4889 (0.2390)	LI = -0.2956 (0.0874)	SI = -0.2783 (0.0774)	NA = -0.3191 (0.1018)
4	CA = -0.5192 (0.2593)	V = -0.4642 (0.2155)	SI = -0.2844 (0.0809)	C = -0.2719 (0.0739)	CO = -0.2454 (0.0602)
5	CR = -0.3615 (0.1307)	BA = -0.3057 (0.0934)	CR = -0.1704 (0.0290)	CA = -0.2047 (0.0419)	RB = -0.1711 (0.0293)
6	C = -0.3531 (0.1247)	NA = -0.2599 (0.0676)	AL = -0.1494 (0.0223)	O = -0.1163 (0.0135)	C = -0.0935 (0.0087)
7	MN = -0.1413 (0.0200)	K = -0.2174 (0.0473)	RB = -0.1480 (0.0219)	MN = -0.0521 (0.0027)	ST = -0.0803 (0.0065)
8	SR = 0.0200 (0.0004)	FE = -0.1616 (0.0261)	MG = -0.1370 (0.0188)	NI = -0.0070 (0.0000)	K = -0.0418 (0.0017)
9	ST = 0.0549 (0.0042)	H = -0.1205 (0.0145)	C = -0.0823 (0.0068)	TI = 0.0676 (0.0046)	TI = -0.0412 (0.0017)
10	AL = 0.1142 (0.0130)	CR = -0.0793 (0.0063)	K = -0.0483 (0.0023)	V = 0.1845 (0.0340)	CA = 0.0171 (0.0003)
11	FE = 0.1941 (0.0376)	RB = 0.0042 (0.0000)	CU = 0.0189 (0.0004)	BA = 0.2356 (0.0555)	FE = 0.0442 (0.0020)
12	V = 0.2104 (0.0443)	CU = 0.0110 (0.0001)	SR = 0.1150 (0.0132)	CU = 0.3003 (0.0902)	LI = 0.0515 (0.0027)
13	O = 0.2715 (0.0734)	TI = 0.1112 (0.0124)	NA = 0.1399 (0.0196)	FE = 0.3076 (0.0946)	MN = 0.0594 (0.0035)
14	TI = 0.3051 (0.0937)	MG = 0.1363 (0.0186)	CA = 0.2033 (0.0413)	MG = 0.3231 (0.1044)	O = 0.0937 (0.0087)
15	NI = 0.3273 (0.1071)	MN = 0.2532 (0.0641)	BA = 0.2516 (0.0633)	H = 0.3351 (0.1123)	NI = 0.1220 (0.0149)
16	CU = 0.3900 (0.1521)	O = 0.2551 (0.0648)	CO = 0.2648 (0.0701)	CR = 0.3383 (0.1145)	BA = 0.1924 (0.0370)
17	H = 0.4243 (0.1800)	CO = 0.2651 (0.0703)	MN = 0.3437 (0.1181)	AL = 0.3658 (0.1338)	CR = 0.2182 (0.0476)
18	LI = 0.4593 (0.2109)	NI = 0.5306 (0.2816)	NI = 0.3658 (0.1338)	K = 0.3796 (0.1441)	SR = 0.2813 (0.0791)
19	CO = 0.5415 (0.2934)	LI = 0.5717 (0.3268)	V = 0.4427 (0.1960)	RB = 0.4088 (0.1671)	H = 0.2872 (0.0824)
20	NA = 0.6015 (0.3618)	CA = 0.7500 (0.5625)	TI = 0.5531 (0.3059)	LI = 0.4102 (0.1683)	V = 0.4354 (0.1895)
21	MG = 0.6858 (0.4703)	C = 0.8387 (0.7035)	FE = 0.7445 (0.5542)	CO = 0.5266 (0.2773)	MG = 0.4679 (0.2190)
% VARIANCE EXPLIQUÉE	20.56	17.55	12.81	10.84	6.93
% CUMULÉ	20.56	38.11	50.92	61.76	68.69

nombre d'échantillons analysés : 61. Analyse "L'" : Laves incluses dans la série sédimentaire triasique et liasique du massif des Ecrins - Pelvoux

PROJECTION ET QUALITÉ DE LA REPRÉSENTATION DES COMPOSANTES DANS LES ANALYSES SUR LES FILONS DOLERITIQUES ET SPILITIQUES SEULS

(Le nombre entre parenthèses représente le carré de la corrélation avec le facteur associé à l'axe considéré)

AXES *	1			2			3			4			5		
	NA =	-0.6852	(0.4708)	O =	-0.6573	(0.4305)	K =	-0.4808	(0.2312)	CA =	-0.5831	(0.3400)	MG =	-0.6137	(0.3766)
	AL =	-0.5855	(0.3427)	SI =	-0.5559	(0.3086)	SI =	-0.3330	(0.1108)	NA =	-0.4927	(0.2428)	K =	-0.1691	(0.0286)
	SI =	-0.5645	(0.3183)	H =	-0.4183	(0.1750)	AL =	-0.1832	(0.0335)	MG =	-0.0883	(0.0078)	CA =	-0.1538	(0.0236)
	MG =	-0.3841	(0.1475)	K =	-0.0524	(0.0027)	CA =	-0.1091	(0.0119)	SI =	-0.0688	(0.0047)	AL =	-0.0446	(0.0020)
	FE =	-0.2506	(0.0628)	NA =	-0.0464	(0.0022)	TI =	-0.0951	(0.0090)	C =	-0.0246	(0.0006)	H =	0.0572	(0.0033)
	TI =	-0.0737	(0.0062)	AL =	-0.0137	(0.0002)	NA =	-0.0763	(0.0058)	MN =	0.0062	(0.0000)	C =	0.1129	(0.0128)
	H =	-0.0403	(0.0016)	MN =	-0.0013	(0.0000)	C =	-0.0231	(0.0005)	O =	0.1313	(0.0172)	FE =	0.1609	(0.0259)
	MN =	0.2871	(0.0824)	C =	0.0960	(0.0092)	MN =	0.3202	(0.1026)	TI =	0.1530	(0.0234)	SI =	0.1755	(0.0308)
	K =	0.3197	(0.1022)	CA =	0.1905	(0.0363)	O =	0.3978	(0.1577)	H =	0.2235	(0.0500)	O =	0.2239	(0.0522)
	O =	0.3652	(0.1329)	MG =	0.2835	(0.0804)	FE =	0.4074	(0.1659)	AL =	0.2762	(0.0763)	NA =	0.3545	(0.1258)
	CA =	0.7236	(0.5235)	TI =	0.5843	(0.3414)	MG =	0.5319	(0.2829)	FE =	0.2839	(0.0806)	MN =	0.5127	(0.2629)
	C =	0.9323	(0.8592)	FE =	0.7419	(0.5503)	H =	0.7862	(0.6182)	K =	0.7449	(0.5549)	TI =	0.6036	(0.3643)
% VARIANCE EXPLIQUÉE:		25.50			16.15			14.42			11.65			10.90	
% CUMULÉ		25.50			41.65			56.07			67.72			78.62	

nombre d'échantillons analysés : 82. "ANALYSE D"

	SI =	-0.3543	(0.7478)	K =	-0.7915	(0.6264)	TI =	-0.4560	(0.2079)	AL =	-0.3734	(0.1394)	BA =	-0.4694	(0.2203)
	SR =	-0.8304	(0.6895)	BA =	-0.7618	(0.5804)	NA =	-0.3671	(0.1348)	CR =	-0.3327	(0.1107)	NI =	-0.4321	(0.1867)
	NA =	-0.8058	(0.6492)	RB =	-0.5746	(0.3302)	V =	-0.3620	(0.1310)	O =	-0.2439	(0.0594)	SI =	-0.3020	(0.0912)
	MG =	-0.6681	(0.4463)	AL =	-0.2897	(0.0839)	CA =	-0.3254	(0.1059)	RB =	-0.2388	(0.0570)	V =	-0.2643	(0.0699)
	NI =	-0.5747	(0.3303)	SI =	-0.2612	(0.0682)	SR =	-0.2306	(0.0532)	K =	-0.1441	(0.0208)	O =	-0.1661	(0.0276)
	AL =	-0.5490	(0.3013)	CU =	-0.2378	(0.0565)	MN =	-0.1880	(0.0354)	CA =	-0.1188	(0.0141)	LI =	-0.1432	(0.0205)
	CR =	-0.3487	(0.1216)	FE =	-0.2298	(0.0528)	C =	-0.0679	(0.0046)	SR =	-0.1020	(0.0104)	RB =	-0.1014	(0.0103)
	FE =	-0.3425	(0.1174)	TI =	-0.1749	(0.0306)	RB =	-0.0613	(0.0038)	SI =	0.0188	(0.0004)	K =	-0.0749	(0.0056)
	CO =	-0.2704	(0.0731)	MG =	-0.1703	(0.0290)	MG =	-0.0339	(0.0012)	C =	0.0202	(0.0004)	C =	-0.0352	(0.0012)
	BA =	-0.1741	(0.0303)	H =	-0.1591	(0.0253)	AL =	0.0194	(0.0004)	NA =	0.0220	(0.0005)	TI =	-0.0114	(0.0001)
	V =	0.1395	(0.0195)	SR =	-0.1328	(0.0176)	K =	0.0465	(0.0022)	BA =	0.0262	(0.0007)	SR =	0.0312	(0.0010)
	O =	0.3011	(0.3905)	MN =	-0.0008	(0.0000)	SI =	0.0509	(0.0026)	MN =	0.0288	(0.0008)	CO =	0.0425	(0.0018)
	CU =	0.3048	(0.0929)	LI =	0.0403	(0.0016)	CO =	0.1970	(0.0388)	CU =	0.0967	(0.0094)	CA =	0.0556	(0.0031)
	TI =	0.3115	(0.0970)	NA =	0.2883	(0.0831)	BA =	0.2506	(0.0628)	CO =	0.1628	(0.0265)	H =	0.0724	(0.0052)
	H =	0.3143	(0.0988)	C =	0.3212	(0.1032)	FE =	0.2839	(0.0806)	NI =	0.1703	(0.0290)	MN =	0.1591	(0.0253)
	K =	0.5393	(0.2908)	NI =	0.3232	(0.1044)	CU =	0.3372	(0.1137)	H =	0.2061	(0.0425)	CR =	0.1754	(0.0308)
	LI =	0.5534	(0.3062)	V =	0.5274	(0.2782)	NI =	0.3471	(0.1204)	MG =	0.4310	(0.1858)	NA =	0.1901	(0.0324)
	RB =	0.6857	(0.4715)	CA =	0.5534	(0.3063)	O =	0.4810	(0.2311)	V =	0.4895	(0.2396)	FE =	0.2208	(0.0488)
	CA =	0.7231	(0.5301)	CR =	0.5595	(0.3131)	LI =	0.5457	(0.2978)	LI =	0.4905	(0.2406)	SI =	0.2723	(0.0744)
	MN =	0.9141	(0.8356)	O =	0.6074	(0.3684)	CR =	0.5561	(0.3093)	FE =	0.6733	(0.4534)	MG =	0.3442	(0.1195)
	C =	0.9236	(0.8474)	CO =	0.6856	(0.4700)	H =	0.8383	(0.7027)	TI =	0.6948	(0.4827)	CU =	0.6922	(0.4792)
% VARIANCE EXPLIQUÉS:		34.22			18.71			12.57			10.11			6.92	
% CUMULÉ	:	34.22			52.93			65.50			75.61			82.53	

nombre d'échantillons : 19

"ANALYSE D"

PROJECTION DES COMPOSANTES ET QUALITE DE LA REPRESENTATION A 5 FACTEURS DES LAVES ET DES FILONS DOLERITO-SPILITIQUES.

ANALYSE DS

AXES	I		2		3		4		5	
	CA	-.851 (.72)	K	-.652 (.43)	K	-.543 (.29)	SI	-.635 (.40)	MN	-.409 (.17)
	C	-.803 (.64)	FE	-.400 (.16)	O	-.533 (.28)	NA	-.305 (.09)	MG	-.271 (.07)
	K	-.408 (.16)	SI	-.333 (.11)	H	-.527 (.28)	MN	-.119 (.01)	K	-.217 (.05)
	MN	-.370 (.14)	AL	-.262 (.07)	C	-.179 (.03)	CA	-.103 (.01)	H	-.213 (.05)
	TI	.055 (.00)	TI	-.180 (.03)	AL	-.084 (.00)	O	-.076 (.00)	AL	-.173 (.03)
	O	.172 (.03)	MN	.032 (.00)	SI	-.039 (.00)	AL	-.018 (.00)	FE	.008 (.00)
	FE	.216 (.05)	CA	.247 (.06)	TI	.118 (.01)	C	.016 (.00)	CA	.073 (.00)
	MG	.339 (.12)	NA	.362 (.13)	FE	.219 (.05)	K	.020 (.00)	SI	.156 (.02)
	H	.408 (.17)	C	.401 (.16)	CA	.296 (.09)	MG	.337 (.11)	NA	.158 (.02)
	SI	.528 (.28)	H	.494 (.24)	NA	.407 (.17)	H	.346 (.12)	O	.159 (.02)
	NA	.599 (.36)	MG	.494 (.24)	MG	.412 (.17)	TI	.353 (.12)	C	.178 (.03)
	AL	.612 (.37)	O	.725 (.52)	MN	.465 (.22)	FE	.722 (.52)	TI	.779 (.60)
	% VARIANCE	25.34		18.00		13.30		11.71		9.00

ANALYSE DS'

[illegible] =	-0.7341 (0.5389)	*	< =	-0.6912 (0.4778)	*	O =	-0.7281 (0.5275)	*	SR =	-0.5802 (0.3366)
[illegible] =	-0.6507 (0.4233)	*	BA =	-0.6572 (0.4319)	*	H =	-0.5049 (0.2549)	*	SI =	-0.4231 (0.1788)
[illegible] =	-0.5838 (0.3408)	*	RB =	-0.4905 (0.2406)	*	LI =	-0.2346 (0.0551)	*	CR =	-0.3994 (0.1595)
H =	-0.5784 (0.3345)	*	SI =	-0.4064 (0.1650)	*	C =	-0.2334 (0.0545)	*	NI =	-0.3391 (0.1150)
SI =	-0.5104 (0.2605)	*	AL =	-0.3387 (0.1147)	*	RB =	-0.2103 (0.0442)	*	NA =	-0.2897 (0.0839)
[illegible] =	-0.3603 (0.1364)	*	SR =	-0.3104 (0.0963)	*	AL =	-0.1192 (0.0142)	*	CA =	-0.1519 (0.0231)
SR =	-0.2769 (0.0767)	*	V =	-0.0955 (0.0091)	*	< =	-0.1108 (0.0123)	*	[illegible] =	-0.1140 (0.0129)
CO =	-0.2600 (0.0676)	*	FE =	0.0076 (0.0001)	*	SI =	-0.0727 (0.0053)	*	C =	-0.0479 (0.0023)
FE =	-0.2138 (0.0457)	*	MN =	0.0813 (0.0066)	*	MG =	0.0017 (0.0000)	*	MN =	0.0551 (0.0030)
[illegible] =	-0.1602 (0.0255)	*	NA =	0.1549 (0.0240)	*	CA =	0.0789 (0.0062)	*	BA =	0.1921 (0.0369)
TI =	0.0121 (0.0001)	*	H =	0.1644 (0.0270)	*	NA =	0.1034 (0.0107)	*	MG =	0.1976 (0.0390)
[illegible] =	0.0546 (0.0030)	*	CA =	0.1902 (0.0362)	*	CU =	0.1182 (0.0140)	*	V =	0.2251 (0.0507)
BA =	0.1541 (0.0237)	*	TI =	0.2068 (0.0428)	*	BA =	0.2060 (0.0424)	*	CU =	0.2314 (0.0535)
CR =	0.1956 (0.0383)	*	CU =	0.3160 (0.0999)	*	CO =	0.2379 (0.0566)	*	AL =	0.2753 (0.0758)
[illegible] =	0.2221 (0.0493)	*	C =	0.3299 (0.1088)	*	MN =	0.2389 (0.0571)	*	< =	0.3258 (0.1062)
NI =	0.3809 (0.1451)	*	O =	0.3950 (0.1553)	*	CR =	0.2577 (0.0664)	*	TI =	0.3273 (0.1071)
< =	0.5501 (0.3026)	*	NI =	0.4245 (0.1802)	*	SR =	0.3254 (0.1059)	*	RB =	0.3366 (0.1133)
MN =	0.6155 (0.3788)	*	MG =	0.4259 (0.1814)	*	NI =	0.4185 (0.1752)	*	H =	0.3404 (0.1159)
RB =	0.6726 (0.4524)	*	CO =	0.5379 (0.2893)	*	V =	0.4684 (0.2194)	*	LI =	0.3407 (0.1161)
[illegible] =	0.8104 (0.6567)	*	CR =	0.5437 (0.2956)	*	TI =	0.4714 (0.2222)	*	FE =	0.4131 (0.1707)
[illegible] =	0.8927 (0.7969)	*	LI =	0.6731 (0.4531)	*	FE =	0.6977 (0.4867)	*	CO =	0.4781 (0.2286)
% VARIANCE =	24.27			16.36			11.58			10.14

									V =	-0.3431 (0.1212)
									TI =	-0.3255 (0.1060)
									C =	-0.2391 (0.0336)
									CA =	-0.1978 (0.0391)
									NA =	-0.1941 (0.0386)
									[illegible] =	-0.1087 (0.0118)
									[illegible] =	-0.0842 (0.0071)
									H =	-0.0549 (0.0030)
									MN =	-0.0159 (0.0003)
									MG =	0.0478 (0.0023)
									BA =	0.1032 (0.0106)
									SR =	0.1251 (0.0159)
									LI =	0.1577 (0.0291)
									RB =	0.1739 (0.0302)
									AL =	0.1859 (0.0345)
									< =	0.2152 (0.0463)
									CR =	0.2187 (0.0478)
									CO =	0.2894 (0.0838)
									SI =	0.3229 (0.1042)
									NI =	0.3673 (0.1349)
									CU =	0.6751 (0.4557)
									% VARIANCE =	6.09

PL II 36

PROJECTION DES COMPOSANTES ET QUALITE DE LAREPRESENTATION A 5 FACTEURS

TABLEAU I : ANALYSE F (FILONS DOLERITO-SPILITIQUES,MINETTES ET KERSANTITES)

SI	=	-0.7207	(0.5188)	*	NA	=	-0.6369	(0.4057)	*	K	=	-0.5547	(0.3076)	*	MG	=	-0.6376	(0.4065)	*
O	=	-0.6814	(0.4099)	*	AL	=	-0.5598	(0.3133)	*	SI	=	-0.2922	(0.0853)	*	CA	=	-0.2367	(0.0560)	*
H	=	-0.4188	(0.1750)	*	SI	=	-0.3843	(0.1475)	*	AL	=	-0.1927	(0.0371)	*	FE	=	-0.0393	(0.0015)	*
K	=	-0.4162	(0.1733)	*	MG	=	-0.3343	(0.1118)	*	TI	=	-0.0540	(0.0029)	*	C	=	0.0178	(0.0003)	*
MG	=	-0.2199	(0.0484)	*	FE	=	-0.2008	(0.0403)	*	CA	=	-0.0376	(0.0014)	*	K	=	0.0803	(0.0064)	*
C	=	0.2348	(0.0551)	*	TI	=	-0.0657	(0.0043)	*	NA	=	-0.0241	(0.0006)	*	SI	=	0.0951	(0.0090)	*
AL	=	0.2884	(0.0832)	*	H	=	0.0155	(0.0002)	*	C	=	-0.0154	(0.0002)	*	TI	=	0.1325	(0.0176)	*
MN	=	0.3502	(0.1209)	*	K	=	0.3017	(0.0910)	*	MN	=	0.2742	(0.0752)	*	NA	=	0.2463	(0.0607)	*
NA	=	0.3935	(0.1588)	*	MN	=	0.3051	(0.0931)	*	FE	=	0.2947	(0.0868)	*	H	=	0.3261	(0.1063)	*
CA	=	0.5002	(0.2502)	*	O	=	0.3477	(0.1205)	*	C	=	0.3280	(0.1072)	*	AL	=	0.3744	(0.1402)	*
TI	=	0.7744	(0.5997)	*	CA	=	0.6223	(0.3873)	*	MG	=	0.5522	(0.3050)	*	O	=	0.3886	(0.1505)	*
FE	=	0.7957	(0.6331)	*	C	=	0.8969	(0.8045)	*	H	=	0.7466	(0.5575)	*	MN	=	0.5167	(0.2670)	*

NA	=	-0.5323	(0.2834)						
CA	=	-0.4213	(0.1775)						
SI	=	-0.2793	(0.0779)						
O	=	-0.0945	(0.0089)						
C	=	-0.0285	(0.0008)						
MN	=	-0.0031	(0.0000)						
H	=	0.1466	(0.0215)						
MG	=	0.1873	(0.0351)						
TI	=	0.2117	(0.0448)						
AL	=	0.2349	(0.0551)						
FE	=	0.3382	(0.1143)						
K	=	0.5860	(0.3434)						

% VARIANCE 26.94 21.00 13.06 10.18 9.90

TABLEAU II : ANALYSE LF (COULEES DE LAVES SPILITIQUES ET ENSEMBLE DU TABLEAU I)

CA	=	-0.8342	(0.6959)	*	O	=	-0.7563	(0.5574)	*	K	=	-0.7660	(0.5868)	*	MN	=	-0.4307	(0.1855)	*
C	=	-0.7602	(0.5778)	*	SI	=	-0.4225	(0.1782)	*	SI	=	-0.5914	(0.3491)	*	SI	=	-0.4070	(0.1653)	*
K	=	-0.4314	(0.1861)	*	H	=	-0.3032	(0.0920)	*	AL	=	-0.0968	(0.0094)	*	NA	=	-0.3287	(0.1080)	*
MN	=	-0.3904	(0.1524)	*	C	=	-0.2107	(0.0444)	*	FE	=	0.1392	(0.0194)	*	MG	=	-0.2497	(0.0624)	*
TI	=	0.0095	(0.0001)	*	MG	=	-0.2097	(0.0440)	*	O	=	0.2176	(0.0461)	*	CA	=	-0.1769	(0.0313)	*
FE	=	0.1490	(0.0225)	*	CA	=	-0.0568	(0.0032)	*	MN	=	0.2180	(0.0475)	*	AL	=	0.1583	(0.0250)	*
O	=	0.2300	(0.0516)	*	MN	=	0.0933	(0.0087)	*	TI	=	0.2404	(0.0578)	*	FE	=	0.1860	(0.0346)	*
MG	=	0.3592	(0.1290)	*	NA	=	0.1021	(0.0104)	*	H	=	0.2428	(0.0590)	*	TI	=	0.2729	(0.0745)	*
SI	=	0.3977	(0.1578)	*	K	=	0.1121	(0.0126)	*	C	=	0.3533	(0.1248)	*	C	=	0.3151	(0.0993)	*
H	=	0.4552	(0.2081)	*	AL	=	0.4809	(0.2312)	*	CA	=	0.3741	(0.1399)	*	K	=	0.3204	(0.1026)	*
AL	=	0.5203	(0.2707)	*	TI	=	0.5926	(0.3512)	*	NA	=	0.4529	(0.2051)	*	O	=	0.4228	(0.1743)	*
NA	=	0.5773	(0.3332)	*	FE	=	0.7884	(0.6215)	*	MG	=	0.4884	(0.2385)	*	H	=	0.6428	(0.4132)	*

MG	=	-0.5390	(0.3468)						
MN	=	-0.2851	(0.0813)						
H	=	-0.2822	(0.0797)						
FE	=	-0.2260	(0.0511)						
K	=	-0.1951	(0.0343)						
AL	=	0.1099	(0.0121)						
CA	=	0.1129	(0.0128)						
O	=	0.1933	(0.0367)						
SI	=	0.2213	(0.0489)						
C	=	0.2242	(0.0503)						
TI	=	0.3583	(0.1284)						
NA	=	0.4409	(0.1944)						

23 17 18.04 15.67 12.31 8.87

b) 21 caractères (éléments majeurs et traces), 61 échantillons (Pl II 33 Tb 2).

- le second facteur (17 % de la variance expliquée) ressemble beaucoup au premier facteur de l'analyse précédente mais Na devient un élément accessoire du groupe Si, Al. Les éléments traces Sr, V et éventuellement Ba varient dans le même sens que ce groupe.

- dans la comparaison de ces deux facteurs (1L et 2L') l'inversion de signe n'est qu'une conséquence d'une orientation "aléatoire" de l'axe sur lequel on projette les variables. On peut donc, sans changer le sens de l'analyse, multiplier indifféremment toutes les valeurs lues sur les tableaux des planches suivantes par 1 ou -1.

- dans le premier facteur nous retrouvons l'opposition entre K et Mg, Na et H du second facteur de l'analyse précédente. Les éléments traces Co et Li varient avec Mg alors que Rb et Ba varient avec K.

- le troisième facteur opposant(O, H) à (Fe, Ii et V) se retrouve, mais assez déformé, dans le facteur 4 de l'analyse précédente.

- il en est de même pour les facteurs 4L' et 3L dans lesquels apparaît le pôle (Na, Si) auquel se joint l'élément trace Sr.

- la variance expliquée par le facteur 5 est très faible pour être retenue dans une interprétation quelconque.

REMARQUE : La faible qualité générale de cette représentation à 5 facteurs par rapport à celle issue des autres analyses est dûe en grande partie au fait que l'ensemble des 61 échantillons sur lesquels les éléments majeurs et traces ont été dosés n'est pas rigoureusement inclu dans l'ensemble des 102 échantillons caractérisés seulement par les éléments majeurs.

En effet 4 échantillons de l'ensemble restreint ont été éliminés de la première analyse en raison :

- soit de leur état d'altération
- soit de leur appartenance possible aux horizons intercalaires (échantillons à faciès de brêche et très calciques).

3.1.3.2 - ANALYSES SUR LES FILONS DOLERITO-SPILITIQUES SEULS

a) 12 caractères (éléments majeurs), 82 échantillons (Analyse D) (P1 II 34 Tb 1)

De même que pour les laves nous avons extrait 5 facteurs qui expliquent 78 % de la variance :

- le facteur 1 oppose fortement le groupe Na, Al, Si au groupe C, Ca.

Malgré de petites variations de détail, il est tout à fait comparable au premier facteur extrait dans l'analyse équivalente effectuée sur les laves.

- le facteur 2 opposant O, Si (H) au groupe Ti, Fe apparaît aussi, mais de façon très déformée, au niveau du facteur 4L.

- le facteur 3 traduit l'opposition entre K et Mg observée au niveau des facteurs 2L et 1L'.

Pour les deux autres facteurs la qualité de la représentation diminue sensiblement et les comparaisons avec les autres analyses deviennent difficiles.

b) 21 caractères (éléments majeurs et éléments-traces) 17 échantillons

Malgré le très faible effectif de la population analysée ici, nous retrouvons un certain nombre de points communs avec les analyses L' et D.

Globalement les éléments-traces suffisamment variants se retrouvent dans des pôles équivalents sur les autres analyses.

Par exemple :

- Sr intervient dans le groupe Si, Na et Al alors que Li intervient dans le pôle C, Ca du facteur 1D (très ressemblant aux facteurs 1L, 2L', 1D).

- Rb est toujours bien corrélé à K dès que cet élément intervient de manière significative dans un facteur.

- La corrélation de Li avec C, Ca, (Mn) d'une part, et H, O d'autre part, est toujours traduite sur deux axes distincts.

3.1.3.3 - LES AUTRES ANALYSES (DS, DS', F et LF)

Les Pl II 35 et II 36 donnent les valeurs des projections et la qualité de la représentation des composantes dans les différentes analyses.

Celles-ci ne sont jamais en contradiction avec les précédentes :

- L'opposition entre C - Ca et Na, Si, Al apparaît toujours au niveau du premier ou du deuxième facteur expliquant 20 à 25 % de la variance.

Les autres facteurs ressemblent toujours, plus ou moins nettement, aux facteurs décrits dans les analyses précédentes.

Au total les 5 facteurs décrivent toujours 80 % de la variance, et l'espace repéré par la représentation à 5 dimensions est relativement stable. En assimilant les facteurs statistiques à des modèles de transformations géologiques (étirement d'une composition chimique en un nuage de points suivant une direction) on peut considérer que chaque partition suit globalement les mêmes différenciations.

Dans l'ensemble filonien le plus large (analyse F), c'est le facteur opposant Ti-Fe à Si-O qui discrimine le mieux le nuage de points et, de ce fait, passe en première position. Les minettes du Valbonnais y sont représentées au pôle siliceux, mais sans discontinuïté avec les filons doléritiques.

L'analyse n'est pas déformée et l'on peut dès lors considérer ce groupe pétrographique comme ayant subi une transformation qui tend vers un pôle siliceux, plus poussée que dans les autres groupes filoniens ou laviques mais rien ne permet de les individualiser en une sous population fondamentalement différente.

3.1.4 - CONSEQUENCES DES RESULTATS GLOBAUX DE L'ANALYSE FACTORIELLE

Dans les 8 analyses factorielles présentées, 5 facteurs suffisent toujours pour expliquer 80 % de la variance. En particulier, ce pourcentage ne diminue pas de manière significative si l'on élargit de 12 à 21 le nombre des variables qui caractérisent les ensembles pétrographiques étudiés.

- Les caractères supplémentaires (éléments en traces) n'interviennent jamais seuls au niveau des différenciations susceptibles d'être représentées par les facteurs. Nous pouvons même considérer en première approximation qu'ils n'ont qu'un rôle "d'accompagnateur" des éléments majeurs :

Li suit H et C

Sr suit Na

Rb (et Ba) suivent K

Co et Cu sont pratiquement invariants (ceci est très net dans l'analyse sur les filons dolérito-spilitiques) (P1 II 34 analyse D')

Cr et Ni ont des rôles complexes difficilement corrélables avec un seul élément

V suit Ti et Fe

- Quelque soit l'analyse considérée, jamais un facteur n'apparaît comme le caractère propre d'un groupe ou d'une partie des ensembles étudiés. Tous les groupes sont affectés de différenciations identiques, mais avec des degrés d'évolutions plus ou moins importants. A cet égard les kersantites et les minettes pourraient représenter le pôle siliceux de l'ensemble étudié.

Le facteur le plus variant (20 à 30 %) oppose (Na, Al, Si) à (C, Ca). La grande stabilité correspond donc à une transformation géologique généralisée sur tout l'ensemble étudié.

- Les autres facteurs sont plus ou moins déformés d'un ensemble à l'autre mais on y reconnaît toujours un pôle constant ou une opposition entre variables constante . On peut les interpréter comme des caractères variables d'un groupe pétrographique à l'autre, à moins que les transformations qu'ils représentent ne soient pas rigoureusement indépendantes les unes des autres. Dans ce dernier cas, un mode d'analyse moins contraignant que celui adopté ici, et consistant à déterminer les axes factoriels à une rotation près, permettrait éventuellement une meilleure interprétation. Une analyse en facteurs communs et spécifiques (LABROT, ROLET, SOLETY, 1971 page 36) ou analyse factorielle en axes obliques serait donc à réaliser afin de compléter notre travail.

3.2 - INTERPRETATION DES FACTEURS

3.2.1 - LE FACTEUR OPPOSANT (Al, Si, Na) A (C, Ca)

3.2.1.1 - ASPECT DESCRIPTIF

Ce caractère linéaire, d'une grande stabilité dans toutes les analyses, discrimine de 20 à 30 % des variations dans les différents groupes étudiés.

Dans ces groupes, les échantillons dont la projection orthogonale sur l'axe associé à ce facteur est rejetée vers le pôle (C, Ca) correspondent à des roches riches en calcite ($CaCO_3$). Ceux rejetés vers le pôle (Na, Al, Si) correspondent à des roches riches en feldspaths albitiques ($Si_3\ AlO_8\ Na$).

L'albite, apparaissant conjointement à de faibles teneurs en Calcium, est caractèristique de la paragénèse spilitique. Nous pouvons considérer ce facteur comme le caractère linéaire spilitique le plus discriminant sur l'ensemble étudié. Il est alors possible, en utilisant les valeurs de la projection des composantes (tableau 1, Pl II 33), de déduire le paramètre spilitique suivant :

$$0,65\ Al + 0,65\ Si + 0,53\ Na + 0,39\ H + 0,34\ Mg + 0,23\ Fe^{3+(t)} - 0,18\ O$$
$$- 0,07\ Ti - 0,36\ Mn - 0,42\ K - 0,85\ C - 0,92\ Ca \quad (1)$$

En divisant ces coefficients par le facteur de conversion approprié et en les multipliant par l'écart type de l'élément correspondant mesuré sur notre population nous obtenons l'équivalent de ce paramètre calculé à partir des données analytiques conventionnelles ;

$$0,088\ SiO_2 + 0,49\ Al_2O_3 + 0,11\ Fe_2O_3 + 0,12\ FeO + 0,16\ MgO - 0,33\ CaO$$
$$+ 0,33\ Na_2O - 0,29\ K_2O - 0,21\ TiO_2 - 0,28\ MnO + 0,40\ H_2O - 0,37\ CO_2 \quad (2)$$

Nous avons calculé les valeurs de ce paramètre pour les compositions moyennes des roches basaltiques données par MANSON (1967).

- -

(1) On pourrait simplifier ce caractère en ne retenant que les éléments dont la corrélation avec le facteur 1 (analyse L) est supérieure ou égale à 0,39. (cf p.313).

(2) Par coïncidence ce paramètre est pratiquement unitaire pour un espace de référence repéré par des teneurs en oxyde.

Roches basaltiques		Cortège dolérito-spilitique du Pelvoux
- Gabbro	11,70	- Lave moyenne : 13,15
- Tholéiite à olivine	11,68	valeurs extrêmes : 11,37 (pôle calcique)
- Dolérite à quartz	11,28	31,29 (pôle albitique)
- Dolérites tholéiitiques à olivine	11,89	gisements extrêmes: 22,10 (Huretières)
		12,70 (Pic Vert)
- Basalte alcalin à olivine	11,89	- Filon moyen (1) : 11,76
		valeurs extrêmes :
- Dolérites alcalines	12,20	maximale : dolérite à chlorite S023 : 17,89
- Basalte à néphéline	11,35	minimale : spilite très calcique P051: 1,28 (carbonates)
- Dolérite à néphéline	11,90	
moyenne	11,75±0,50	Les filons doléritiques sont relativement bien centrés entre les valeurs 12,00 et 14,00

CONSEQUENCES :

- Les moyennes des valeurs de ce paramètre, surtout dans les filons, sont proches des valeurs basaltiques. Ceci est l'indice d'une complémentarité dans la transformation : les départs de Ca sont compensés par un enrichissement en albite, et inversement, les échantillons très calciques sont peu albitiques. Ce mécanisme peut parfaitement être envisagé à partir d'une composition basaltique.

Les laves montrent une grande dispersion vers les fortes valeurs (Albite), à l'inverse des filons qui sont plus étirés vers le pôle calcique et à la seule vue de ce bilan quantitatif, si la densité de l'échantillonnage était proportionnel à la fréquence des roches observées, on pourrait concevoir que le déficit en Ca des laves serait compensé par un excédent dans certains filons.

- Ce paramètre est pratiquement invariant dans les différenciations basaltiques communes. Ce critère d'indépendance sera donc à considérer dans les futures représentations graphiques simplifiées des roches spilitiques qui auront intérêt à s'inspirer des valeurs de ce paramètre.

---

(1) Minettes et kersantites exclues.

3.2.1.2 - INTERPRETATION DES VARIATIONS DES VALEURS DU CARACTERE SPILITIQUE SUR L'ENSEMBLE BASIQUE DES ECRINS-PELVOUX

Aux valeurs les plus élevées de ce paramètre correspondent les échantillons les plus albitiques. Aux valeurs minimales, égales aux valeurs basaltiques, correspondent des échantillons dont la trame silicatée est oblitérée par de la calcite, mais dont la composition chimique se rapproche le plus des compositions de basalte.

a) Première hypothèse :

Nous pouvons envisager que la spilitisation de nos roches relèverait de la transformation non isochimique d'un basalte normal par un procédé de métamorphisme qui destabiliserait le feldspath calcique originel.

Cette hypothèse, très souvent adoptée par les auteurs qui ont étudié des séries spilitiques , peut s'illustrer à l'aide de la réaction d'ESKOLA (1937) :

$$\underset{\text{(Anorthite)}}{Si_2Al_2O_8Ca} + Na^+ + SiO_2 + H_2O + CO_2 \longrightarrow \underset{\text{(Albite)}}{Si_3AlO_8Na}$$

En équilibrant les charges :

$$\underset{\text{(Anorthite)}}{Si_2Al_2O_8Ca} + Na^+ + SiO_2 + 2\,CO_2 + 2H^+ \longrightarrow \underset{\text{(Albite)}}{Si_3AlO_8Na} + \underset{\text{(bicarbonate de calcium soluble)}}{Ca(HCO_3)_2} + Al^{3+}$$

- La transformation du feldspath évolue à volume constant, par substitution molécule à molécule et aboutit à l'albite pure (réaction complète) entre 264 et 311° C.

Le carbonate de calcium formé au cours de l'évolution de cette réaction serait alors transporté hors du système par les fluides, puis cristalliserait, dans la mesure du volume disponible, dans les vides de la roche (vacuoles, films interminéraux ...). On expliquerait ainsi la bonne corrélation positive entre C et Ca, entièrement discriminée par ce facteur.

L'enrichissement en Si et Na, constaté parallèlement à l'appauvrissement en Ca s'expliquerait également en considérant les différents stades de l'évolution de la réaction vers le pôle albitique, bloqués dans des états intermédiaires (par exemple l'oligoclase dans les filons doléritiques).

Si la bonne corrélation Si - Na et C - Ca pouvait s'expliquer par un tel mécanisme, il n'en est plus de même avec Al. En effet la bonne corrélation positive de Al avec Si et Na, elle aussi entièrement discriminée à l'aide du facteur 1 (analyses L, D et DS), implique obligatoirement qu'au cours de la transformation non seulement tout l'Al^{3+} reste figé dans le système (mobilisé dans la chlorite par exemple) mais qu'il y ait également un apport d'Al puisqu'il est corrélé positivement à deux éléments qui sont d'autant plus abondants que l'état spilitique est développé. Le modèle adopté par FONTEILLES (1968) est plus complet :

$$2\ Si_2Al_2O_8Ca + 5(Fe,Mg)SiO_3 + 2Na^+ + 2H^+ \rightarrow 2NaAlSi_3O_8 + (Fe,Mg)_5Al_2Si_3O_{14} + 2Ca^{2+} + H_2O$$

; il explique la fixation d'Al, mais l'abondance des trois constituants inertes initiaux (SiO_2, Al_2O_3, (Fe,Mg)O) est déterminé avant le métamorphisme. Il faudrait alors que les zones qui présentent le caractère spilitique le plus prononcé correspondent à des faciès primitifs :

(1) soit peu différenciés (feldspaths riches en anorthite)

(2) soit de type cumulat feldspathique.

Or nos observations vont à l'encontre de ces deux possibilités ; en effet :

- les faciès les plus albitiques (ou les plus albitisés dans cette hypothèse) sont ceux du Beaumont, et s'ils peuvent à la rigueur être plus doléritiques que les autres, ils ne sont, en aucun cas, plus feldspathiques. La supposition (2) est donc à rejeter.

- quant à la supposition (1), si nous admettons avec GREEN et RINGWOOD (1967) ainsi qu'avec MANSON (1967) que les dolérites représentent un stade de différenciation magmatique déjà poussé, nous sommes obligés d'admettre que leurs feldspaths ne peuvent être que peu calciques, donc peu alumineux. Nous la rejetons également.

Il ressort de cette analyse que l'opposition des groupes Na, Al, Si et C , Ca ne peut être explicitée de manière satisfaisante, surtout au niveau de Al par ce seul mécanisme de substitution anorthite-albite (car dans ce cas les variations de Al seraient nulles voir décroissantes quand croît le caractère spilitique).

Pour prendre un tel mécanisme en considération, il faut admettre qu'il soit précédé d'un enrichissement originel en Al. Ceci est peu probable, car aucune tendance vers les basaltes alumineux n'apparaît sur la P1 II 25.

b) Seconde hypothèse

Si une cristallisation primaire d'albite à partir d'un liquide résiduel riche en éléments volatils pouvait être admise, nous aboutirions à une image des produits finis identique à celle observée sur l'ensemble dolérito-spilitique étudié.

Mais les expériences de YODER et TILLEY (1962) montrent qu'il est peu probable que l'albite puisse cristalliser directement à partir d'un liquide basaltique, même hydraté.

Nous sommes alors obligés d'admettre une cristallisation en deux temps :

- une cristallisation primaire d'un feldspath très évolué (Oligoclase par exemple) possible à partir d'un magma saturé en eau, puis à partir du liquide résiduel très enrichi en éléments volatils et en Na, des réactions de substitution de Ca par Na apparentées à celles de la première hypothèse. Ca alors présent dans la phase volatile ultime pourrait alors cristalliser hors du système sous forme de carbonates. Cette hypothèse, qui nécessite une cristallisation en deux temps est apparentée au rôle que SAUPE (1973) attribue à la "phase deutérique" pour aboutir aux caractères de "propilitisation" de la série basique d'Almadèn, qui d'après ces descriptions sont tout à fait comparables aux caractères spilitiques que nous avons décrit dans le Massif des Ecrins-Pelvoux.

- nous reviendrons, avec d'autres arguments, sur la validité de ces hypothèses génétiques dans la discussion générale (IIIe partie).

3.2.2 - FACTEUR OPPOSANT K (Fe) A Mg - O - H

Ce facteur n'est pas aussi constant que le précédent dans tous les ensembles analysés.

Le rôle de Fe en particulier est assez confus :

- au niveau des laves Fe intervient conjointement à K (Facteur 2L) ou reste neutre (Facteur 1L')
- au niveau des filons il intervient modestement mais conjointement à Mg (Facteur 3D)

Dans l'analyse D' le pôle magnésien de ce facteur (2D') est complètement déformé par les éléments traces.

- Le pôle potassique de ce facteur :

K est le seul élément stable. Les éléments traces Rb et Ba le confirment.

L'intervention de Si et Al très modeste, mais constante au côté de K, laisse supposer une discrimination de l'abondance du feldspath potassique.

- Le pôle magnésien :

L'association Mg, H et O suggère une liaison sous forme d'amphibole ou de chlorite. Dans cette interprétation le rôle instable de Fe se conçoit plus aisément, si l'on suppose que ce minéral ferromagnésien hydraté est à tendance plus ferrifère dans les filons que dans les laves.

- Ce facteur est trop instable pour en tirer une norme quantitative.

Il vaut mieux raisonner sur la représentation graphique des variations discriminées par ce facteur en fonction des variations simultanées de calcite et albite (Pl II 37 et II 38).

Dans ce diagramme les dolérites ne sont pratiquement pas discriminées. Seules les différenciations de bordure de l'amas grenu du Vallon de la Selle évoluent vers les pôles hydratés et calciques.

Le groupe pétrographique le plus discriminé par ce couple de facteurs est représenté par l'ensemble de l'Aiguille Fourchée, Crupillouse.

L'étirement maximum des points représentatifs de la cheminée est parallèle à l'axe 3 (Pl II 37). Il est surtout étiré vers le pôle carbonates.

Le dyke W de Crupillouse pourrait être constitué d'un magma doléritique enrichi en carbonate.

Un groupement albitique individualisé dans ces deux faciès pourrait dans ce cas représenter une zone de cumulat feldspathique entièrement albitisé.

L'acalinisation des feldspaths ressort, d'après ce graphique, liée à deux réactions indépendantes.

Cette représentation, discrimine en moyenne 50 % des variations enregistrées tant sur les laves que sur les filons. Celles-ci s'interprétent par la variation du rapport des minéraux albite, calcite, chlorite et un enrichissement en potassium et alcalins-traces Rb et Ba.

Cette paragénèse serait compatible avec les effets du métamorphisme alpin. Mais celui-ci ne peut être tenu pour seul responsable de variations quan-

titativement au moins équivalentes à la somme de celles issues des différenciations magmatiques qui ont abouti à la mise en place du complexe intrusif et effusif étudié.

- Les représentations graphiques construites à partir de ces deux facteurs 1 et 2 (L) (Pl II 38)sont assez confuses.On y constate cependant que la polarité des sommets de coulées tend préférentiellement vers le pôle calcique et qu'inversement les bases de coulées sont plus albitiques.
Cette disposition se retrouve aussi très nettement dans la projection des échantillons sur le plan des axes 1 et 3 (L) (Pl II 37).

3.2.3 - FACTEURS OPPOSANT Si - O - H à Ti - Fe

Facteur de deuxième rang dans l'analyse des filons dolérito-spilitiques (D) il est relégué en quatrième position pour les laves (4L). Il est alors très déformé et ne représente plus que 10 % de la variance.

En ajoutant les minettes et les kersantites du Valbonnais (analyse F et LF) à l'ensemble filonien dolérito-spilitique ce facteur passe avant le facteur opposant Na, Al, Si à C, Ca (caractère spilitique).

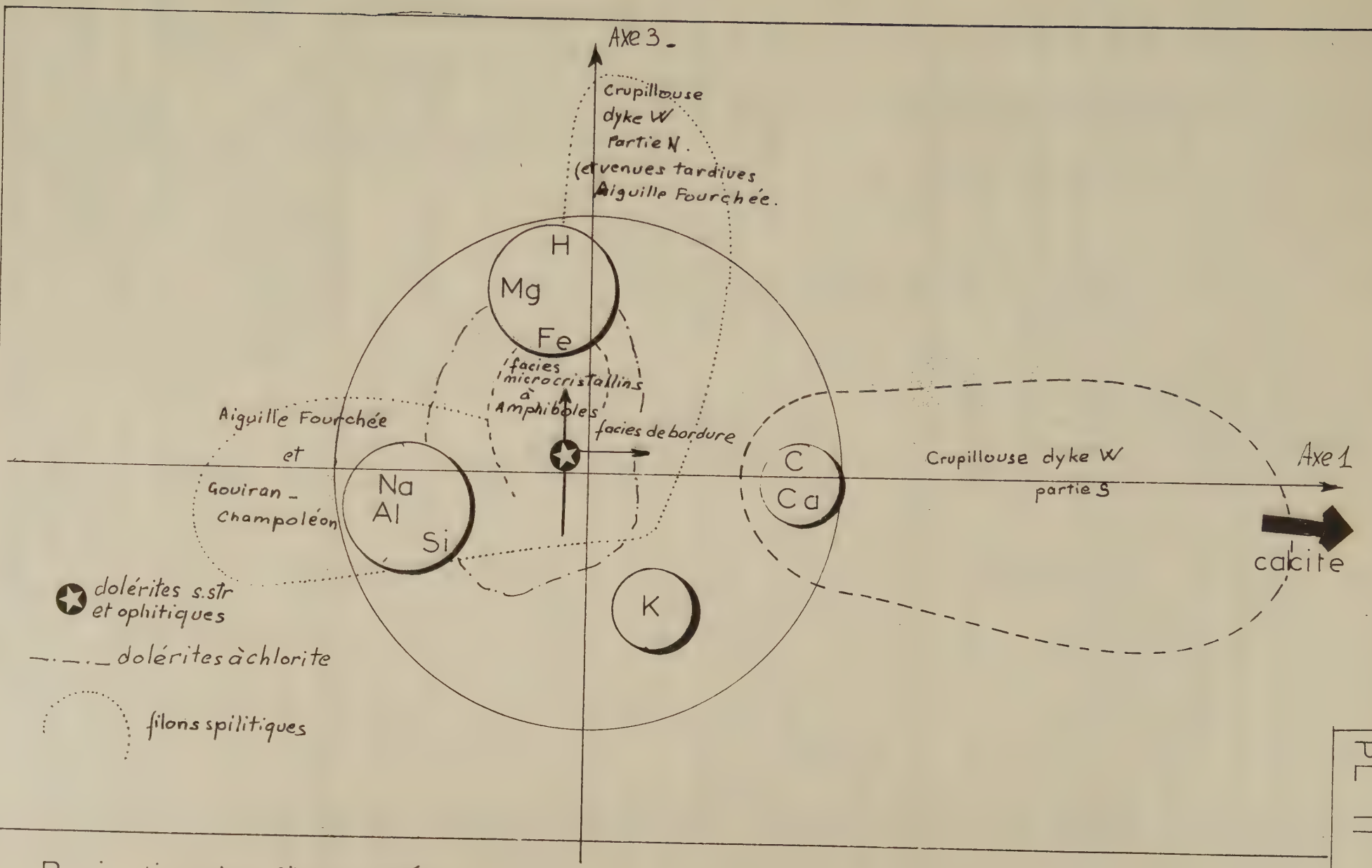
L'interprétation doit donc se faire à partir d'observations sur l'ensemble intrusif.

Le pôle Si est lié à une augmentation de teneur en eau. Au niveau des éléments traces (analyse D') Li est corrélé positivement à H et V à Ti. Cr et Ni seraient à corréler négativement à Ti.

K, quoique peu influent, suit une évolution analogue à Si.

- le pôle Si, O, H s'oppose à un groupement ferromagnésien corrélé à Ti. Malgré leur corrélation médiocre, les éléments centraux (col.2 Tb D Pl II 34 permet de supposer qu'une partie des feldspaths potassiques est associé au pôle siliceux.

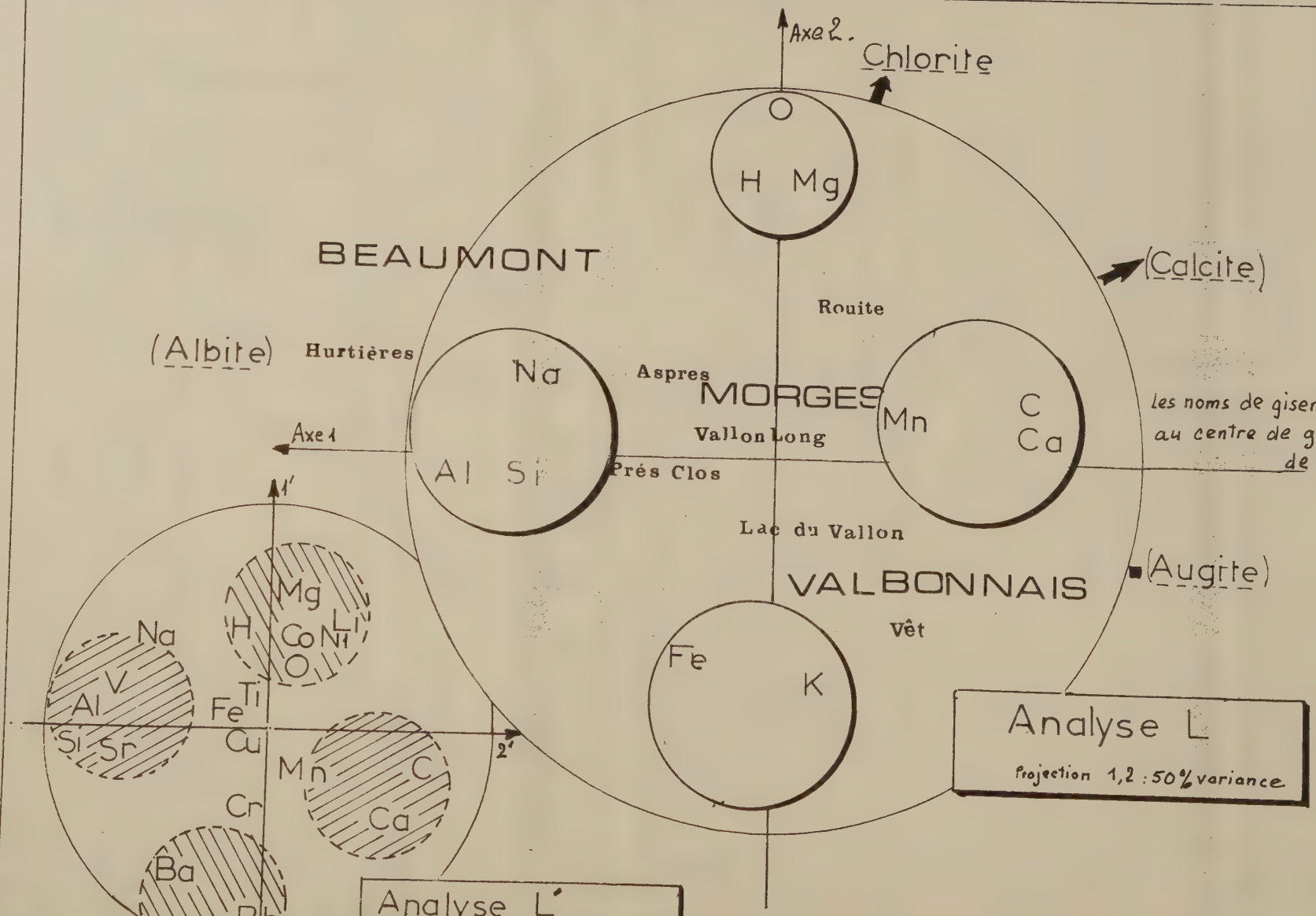
- les variations discriminées par ce facteur portées en fonction du caractère spilitique (Pl II 42) permettent de délimiter les espaces des groupes filoniens que nous avions distingués pétrographiquement. Les dolérites porphyriques et ophitiques sont bien concentrées et les faciès de cheminées se dispersent dans les deux directions alors que les dolérites microcristallines sont plus étirées parallèlement à l'axe opposant Si à Fe, Ti.



Projection des filons doléritospilitiques sur le plan factoriel 1,3 (analyse D)

PL II 37

Projection plane la plus discriminante des laves spilitiques du Massif Ecrins, Pelvoux



les noms de gisement correspondent au centre de gravité du nuage de points.

Analyse L
Projection 1,2 : 50 % variance

Analyse L'
Projection 1,2 : 40 % variance

PL II 3

- L'addition des kersantites et des minettes ne déforme pas les facteurs dans la représentation précédente. Elles se retrouvent étirées vers le pôle siliceux à partir d'une composition doléritique très albitique.

- une interprétation de différenciation par cristallisation fractionnée (sédimentation gravitaire, ou filtre presse) permettrait d'expliquer l'opposition entre le pôle siliceux (et feldspathique) et le pôle ferromagnésien. Dans ce cas, l'intervention nette de H aux côtés de Si suggèrerait une évolution jusqu'au terme hydrothermal.

3.2.4 - LES AUTRES FACTEURS

Leur stabilité insuffisante, et les variations discriminées trop peu importantes ne permettent pas de les interpréter valablement.

Un seul de ces facteurs oppose nettement Ti à des éléments ferromagnésiens. Bien que ne représentant que 6 à 10 % de la variance du système il posséde une certaine constance. Il serait à rapprocher de l'ensemble des deux premiers facteurs extraits dans l'analyse de MANSON (1967) sur les basaltes mondiaux et interprétés comme une différenciation magmatique à partir de la fusion partielle du manteau supérieur. Cette origine profonde serait confirmée par les fortes teneurs en Cr et Ni et le rapport K/Rb moyen = 240. Mais dans ce cas il faut supposer que la proportion de matériel mobilisé soit relativement constante pour ne pas entraîner une grande diversité magmatique initiale.

3.3 - SYNTHESE DES REPRESENTATIONS GRAPHIQUES SUR LES PLANS FACTORIELS

a) A la suite d'un défaut du programme de calcul il n'a pas été possible de représenter la projection d'un grand nombre de termes de comparaison supplémentaires à la population étudiée.

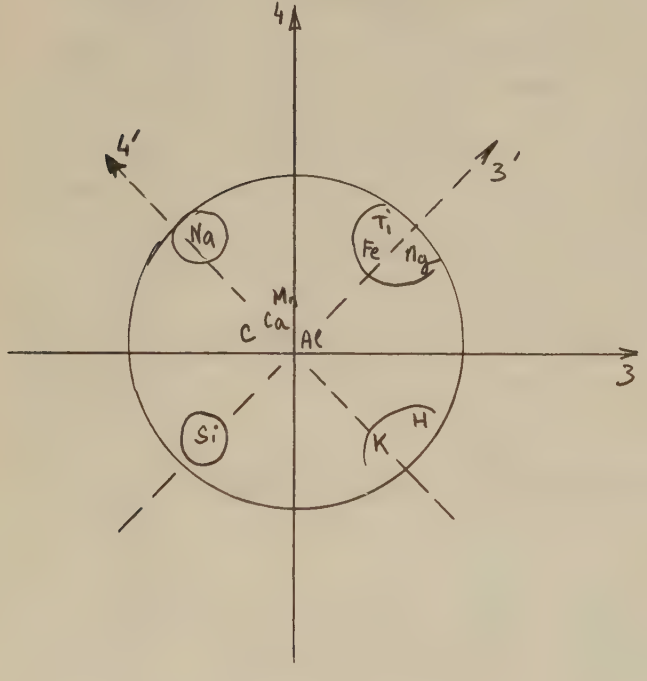
Seule la projection sur le plan des axes 1 et 4, analyse LF (P1 II 41), représente quelques moyennes basaltiques de MANSON. Nous les avons construites géométriquement (sommes vectorielles) à partir des projections des variables sur le plan factoriel considéré. On constate que ces compositions chimiques moyennes sont faiblement, mais sensiblement, discriminées par le caractère spilitique tel que nous l'avons défini précédemment. Le pôle alcalin est celui qui présente la tendance albitique la plus nette.

b) Toutes les représentations graphiques présentées dans ce texte sont construites en fonction des projections sur l'axe 1 associé au facteur le plus stable dans toutes les analyses (facteur opposant l'albite à la calcite).

Cet axe peut être assimilé au modèle mathématique d'une différenciation indépendante des autres transformations. L'espace repéré par les 4 axes associés aux autres facteurs instables d'une analyse à l'autre peut se concevoir comme un espace stable orthogonal à l'axe 1. Cet espace pourrait caractériser le domaine de variation de la composition chimique d'un magma différencié par des facteurs géologiques dépendant les uns des autres.

Il n'est donc pas exclu que la condition d'indépendance entre caractères que nous nous sommes imposée par le choix d'une ACPN en facteurs indépendants ne soit pas réalisée sur l'ensemble étudié.

D'ailleurs la projection des variables sur le plan des axes 3 et 4 de l'analyse sur les laves nous le suggère :

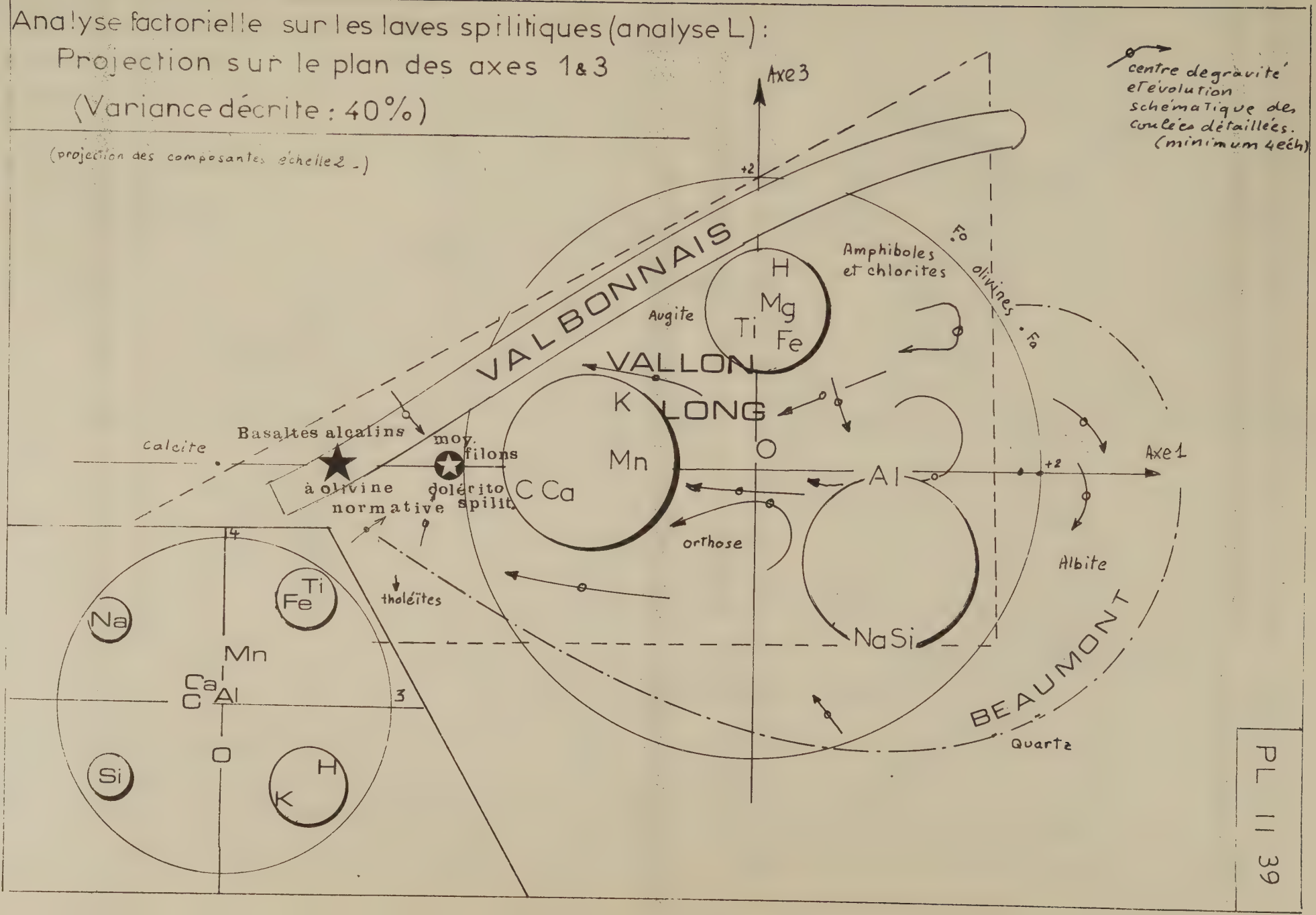


Si nous faisons tourner les axes autour du barycentre du système nous voyons apparaître deux nouveaux facteurs :
- 1er opposant Ti, Fe, Mg à Si (3')
- 2e opposant Na à K et H (4')

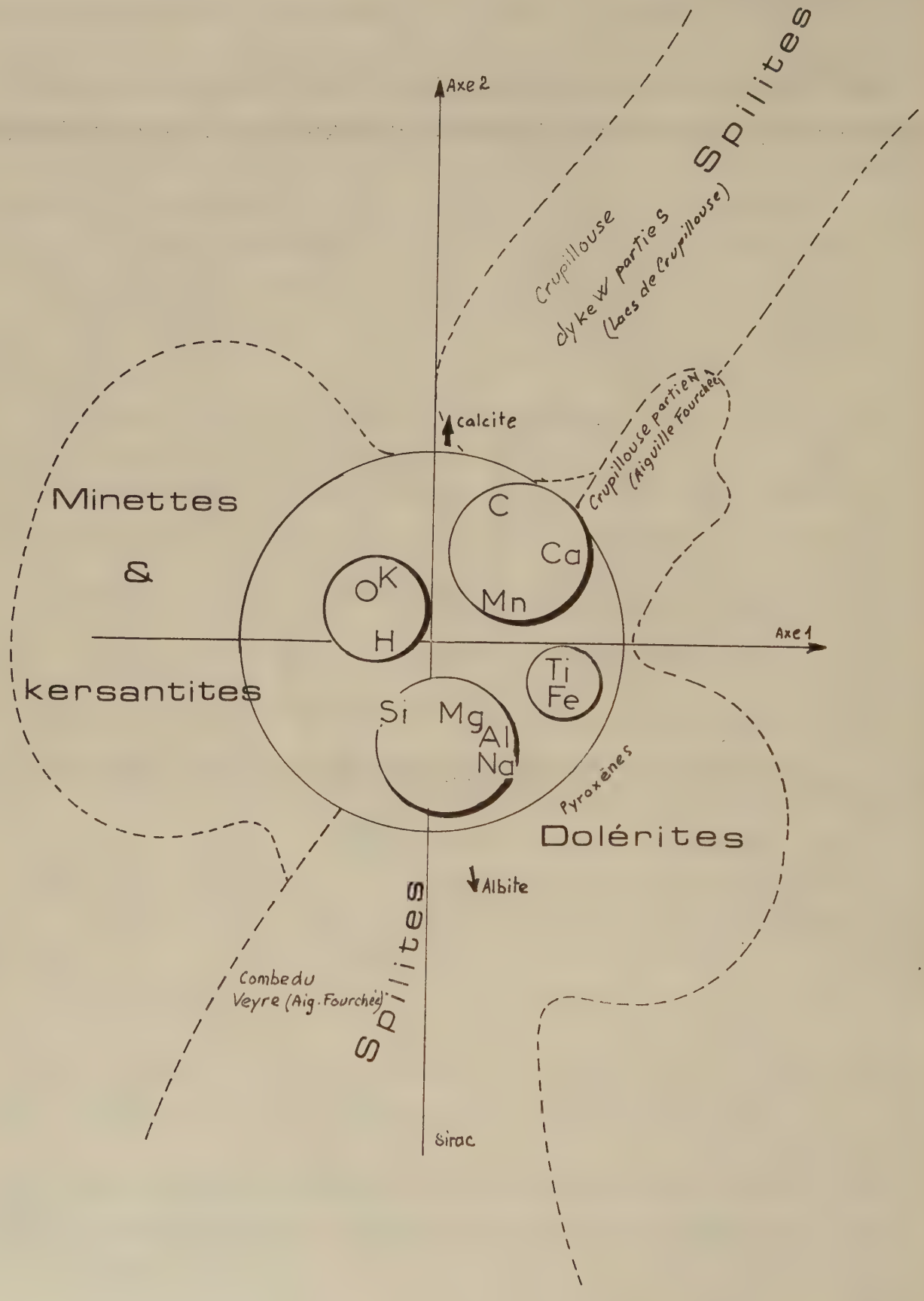
Dans l'éventualité de la stabilité du repère (3', 4'), ce système ne serait plus orthogonal à l'axe 1 et l'indépendance avec le caractère spilitique ne serait plus réalisée.

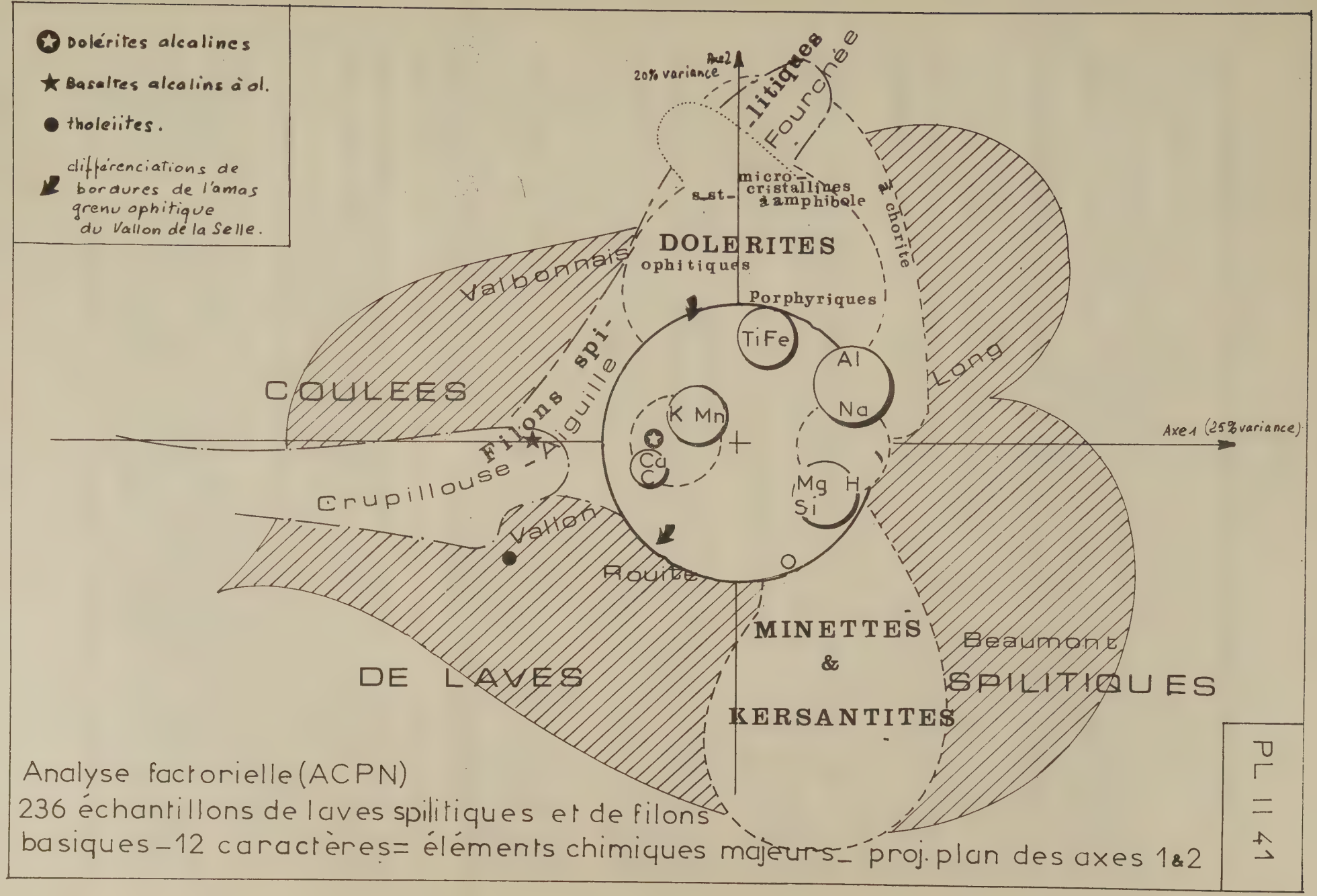
Dans l'analyse sur les filons, cette figure se retrouve au niveau de la projection sur le plan des axes 2 et 3 opposant les mêmes éléments.

Il serait donc utile, comme nous l'avions suggéré précédemment (p.241) d'effectuer une Analyse en facteurs communs et spécifiques ou analyse factorielle en axes obliques.


Analyse factorielle sur les laves spilitiques (analyse L) :
Projection sur le plan des axes 1 & 3
(Variance décrite : 40 %)
(projection des composantes échelle 2 -)
centre de gravité et évolution schématique des coulées détaillées. (minimum 4 éch)
Axe 3
Axe 1
+2
+2
VALBONNAIS
VALLON
LONG
BEAUMONT
Amphiboles et chlorites
Fo
olivines
Fo
Augite
H
Mg
Ti
Fe
K
Mn
C Ca
O
Al
NaSi
Quartz
Albite
orthose
Basaltes alcalins
à olivine normative
moy. filons dolérito spilit
Calcite
tholéïtes
4
3
Na
Ti
Fe
Mn
Ca
C
Al
O
Si
H
K

PL II 40


Axe 2
Axe 1
Spilites
Crupillouse dyke w parties (Lacs de Crupillouse)
calcite
Crupillouse partiel (Aiguille Fourchée)
Minettes
&
kersantites
C
Ca
Mn
K
O
H
Ti
Fe
Si
Mg
Al
Na
Pyroxènes
Dolérites
Albite
Spilites
Combe du Veyre (Aig. Fourchée)
Sirac



Analyse factorielle (ACPN)
236 échantillons de laves spilitiques et de filons basiques – 12 caractères = éléments chimiques majeurs – proj. plan des axes 1&2

PL II 41

3.4 - BILAN DES INFORMATIONS APPORTEES PAR LA STATISTIQUE MULTIVARIABLE

- Un facteur opposant Na, Al, Si à C, Ca est le seul élément vraiment stable dans toutes les analyses en composantes principales effectuées. Il discrimine près de 30 % des variations chimiques des laves et 25 % des variations de l'ensemble filonien dolérito-spilitique.

Facteur le plus discriminant de l'état spilitique du cortège dolérito-spilitique du Massif des Ecrins-Pelvoux, il ne semble pas interprétable par une seule transformation liée à un métamorphisme général. Le rôle qu'y joue Al suggère la possibilité d'une cristallisation primaire d'un feldspath peu calcique à partir d'un bain silicaté résiduel qui s'enrichit en éléments volatils (et éventuellement en carbonates) - ou phase deutérique.

- Dans l'analyse sur les laves, un second facteur (K(Fe) - Mg, O, H) peut servir à décrire des variations de la teneur en chlorite opposé à un enrichissement en K.

- L'analyse sur les filons fait apparaître en seconde position un facteur (Si, O, H - Fe, Ti, (Mg)) opposant les ferromagnésiens à un pôle siliceux à tendance hydrothermale. Il discrimine particulièrement bien les formations de la cheminée de l'Aiguille Fourchée et du dyke de Crupillouse. Il peut être interprété comme caractéristique d'une cristallisation fractionnée.

- Les représentations graphiques des groupes filoniens sont toujours plus satisfaisantes que celles des laves. Néanmoins, sur ces dernières, on peut observer une polarité des sommets de coulées tendant vers un pôle calcique et potassique. Inversement les bases de coulées seraient plus albitiques.

- Au début de l'étude géochimique, à la suite de FONTEILLES (1968) Mg a été estimé invariant dans la transformation spilitique. Ceci peut être considéré comme vrai, tant dans les laves que dans les filons, au niveau du facteur le plus discriminant. Une légère variation apparaît principalement dans les filons au niveau du facteur dans lequel intervient la chlorite.

Toutefois cette influence reste négligeable dès que l'on raisonne sur les moyennes des différents groupes.

- CO_2 intervient uniquement dans le premier facteur, en revanche, H_2O a un rôle complexe dans tous les autres. Aucune relation simple ne peut être établie entre eux. Il faut donc considérer ces deux composés volatils comme indépendants l'un de l'autre. Paradoxalement Li présente des affinités avec ces deux composés, son mode de concentration est vraisemblablement complexe.

4 - BILAN GEOCHIMIQUE

- Les ressemblances entre les roches basaltiques et le cortège dolérito-spilitique du Massif des Ecrins-Pelvoux sont plus importantes que les différences. La distribution des éléments chimiques permet de supposer que le magma générateur est apparenté à un magma de type basalte alcalin riche en éléments volatils et probablement assez pauvre en Ca. Ce magma présente les caractères des différenciations issues d'intrusions ultrabasiques (fortes teneurs en Cr et Ni, K/Rb centré sur la valeur 240)misesen place à la charnière entre les domaines océanique et continental.

- Le grand étalement des teneurs en éléments alcalins (Li, Na, K et Rb) étudié conjointement aux variations des alcalino-terreux (Mg, Ca, Ba, Sr) laisse prévoir un mode de différenciation complexe où sont superposées plusieurs influences.

- L'analyse statistique multivariable nous permet de dégager un caractère spilitique indépendant des différenciations basaltiques classiques. Il est impossible de l'interpréter par un seul métamorphisme général dans le faciès schiste vert, même si celui-ci est à caractère hydrothermal.

- Les variations chimiques liées à la polarité des coulées , à la position des gisements de laves dans le Massif, et au mode de cristallisation primaire des filons font supposer que la dispersion est prédéterminée par les stades de cristallisation terminaux du magma.

- Le point commun des origines filoniennes est analogue à une composition doléritique probablement alcaline et appauvrie en Ca. Les kersantites et les minettes du Valbonnais bien que divergentes, ne présentent pas de discontinuité fondamentale avec les autres groupes filoniens. Dans le cas où la preuve de leur appartenance au réseau basique pouvait être apportée, par des critères pétrographiques, elles représenteraient un terme ultime de différenciation et ceci permettrait de confirmer les points encore hypothétiques de l'interprétation de la génèse de tout le complexe volcano-filonien basique du Massif des Ecrins-Pelvoux.

T R O I S I E M E P A R T I E

RAPPEL DES PRINCIPAUX RESULTATS
ESSAI D'INTERPRETATION
CONCLUSIONS GENERALES

Rédaction : R.AUMAITRE
G.BUFFET

1 - RAPPEL DES PRINCIPALES OBSERVATIONS

1.1 - MINERALOGIE, PETROGRAPHIE

a) Nous avons mis en évidence l'homogénéité de l'ensemble dolérito-spilitique du Massif des Ecrins-Pelvoux constitué :

- d'un réseau filonien essentiellement doléritique présentant tous les termes intermédiaires entre des faciès grenus et des faciès laviques
- et d'un ensemble effusif uniquement spilitique.

Les différents termes de cet ensemble ne sont que des stades particuliers d'une différenciation continue.

b) L'étude minéralogique permet de distinguer deux paragénèses superposées (ou successives) :

- une paragénèse de haute-température de type basaltique hydraté :

péridots, clinopyroxènes, plagioclases, hornblende, oxydes de fer et titane, (biotite et feldspaths potassiques)

- une paragénèse de pseudomorphose représentée par des minéraux de basse température :

albite BT, chlorite, calcite, sericite, (trémolite, actinote, talc, épidote), quartz.

1.2 - GITOLOGIE

- Les laves se sont mises en place dans des milieux subaquatiques triasiques (zones de haut-fond) à sédimentation carbonatée ou détritique ;
- Les filons sont inclus dans un socle métamorphisé constitué de gneiss, migmatites et granites. Leur minéralogie est totalement indépendante de la nature de la roche encaissante. En revanche des transformations de contact, occasionnées par la mise en place des filons, sont souvent présentes dans le socle, mais toujours très réduites dans l'espace.

1.3 - MAGMATISME

- La présence de fantômes de péridots, indubitables et nombreux dans les épanchements laviques, plus rares dans certains filons, et la présence de "nodules de péridotites" dans les filons des secteurs de Crupillouse et de Champoléon, laissent supposer que le magma originel devait avoir une composition probable de basalte alcalin.

1.4 - METAMORPHISME

L'ensemble effusif et intrusif a été affecté par la phase donnant le faciès "schistes verts" du métamorphisme alpin. L'intensité de ce métamorphisme mesuré d'après la cristallinité des micas décroît sensiblement des gisements spilitiques situés dans les synclinaux pincés du coeur du massif, jusqu'à ceux situés en bordure même du cristallin ou plus à l'ouest. L'influence du socle cristallin sur le métamorphisme des spilites n'est donc pas négligeable. D'autre part on peut observer que les coulées sont généralement moins réfractaires au métamorphisme que les horizons intercalaires.

1.5 - GEOCHIMIE

La composition chimique des roches du cortège dolérito-spilitique du Massif des Ecrins-Pelvoux est caractérisée avant tout par une dispersion importante d'un certain nombre d'éléments, qu'il est difficile d'expliquer par un mécanisme volcanique habituel. Ces dispersions affectant principalement les alcalins, le calcium, et les composés volatils CO_2 et H_2O concernent plus les faciès spilitiques (laves et cheminées) que les faciès hypovolcaniques.

Les teneurs en éléments peu variants (Si, Al, Fe, Ti, Mg) sont analogues à celles des roches basaltiques.

Les alcalins K, Rb, Na présentent globalement les mêmes répartitions que dans les différenciations alcalines, et leurs teneurs moyennes au sein des gisements de laves nous permettent d'envisager une dispersion aboutissant principalement à une surconcentration en K accompagnée d'une migration de carbonates préférentielle dans les sommets de coulée.

Les gisements du NW des massifs (Pic Vert, Vêt, Lac du Vallon) apparaissent cependant plus potassiques que les autres.

Dans l'ensemble intrusif les plus fortes teneurs en K et Rb correspondent à la structure porphyrique, exprimée dans un filon qui recoupe tous les autres, et que l'on peut considérer comme une venue tardive.

- K et Rb sont particulièrement bien discriminants des groupes pétrographiques individualisés, et la valeur moyenne K/Rb = 240 permet d'envisager une différenciation à partir d'intrusions ultrabasiques (confirmée par les fortes teneurs en Cr et Ni et éventuellement par les rapports isotopiques de Rb et Sr).

- Les variations simultanées de Ti, K, Rb et Tl suggèrent une mise en place, à la charnière, entre un milieu océanique et continental (caractère continental dominant).

- Un caractère spilitique opposant le groupement Na, Al, Si à C, Ca a été mis en évidence. Il est très difficile de l'interpréter par un seul mécanisme de métamorphisme général, même à caractère hydrothermal, dans le faciès schiste vert. L'analyse factorielle, nous montre d'ailleurs que l'eau (1) intervient de manière significative dans la plupart des facteurs et joue vraisemblablement un rôle au niveau de chaque transformation envisageable.

---

(1) phase volatile non compris le CO_2.

2 - PROBLEMES POSES PAR LE CARACTERE SPILITIQUE

2.1 - RAPPEL DES DIFFERENTES HYPOTHESES SUR LA SPILITISATION

Les revues les plus complètes sur la génèse des roches spilitiques ont été données par VALLANCE (1960-1969) et AMSTUTZ (1968).

Le tableau suivant en résume les différentes tendances

Origine primaire cristallisation directe de la paragénèse spilitique A	A1 - Cristallisation directe à basse température à partir d'un magma spécial très différencié : pauvre en calcium, riche en Na, H_2O et CO_2 DEWEY et FLETT (1911) et AMSTUTZ (1968)
	A2 - Contamination au niveau des chambres magmatiques par de l'eau de mer TANE (1961)
	B - Altération hydrothermale (locale)
	. B1 - attaque par les fluides magmatiques durant les derniers stades du refroidissement (SAUPE, 1973)
	. B2 - conditions de cristallisation subaquatique créées par la haute pression des fonds océaniques RITTMANN (1957)
Origine secondaire paragénèse spilitique due à des transformations ultérieures	. B3 - Métamorphisme post-épanchement dû à des fluides hydrothermaux (eaux connées ou météoriques ou marines).
	. B 31 - Les fluides sont cause du métamorphisme FONTEILLES (1968)
	. B 32 - Les fluides sont mobilisés au cours d'un réchauffement local CANN (1969)
	C - Altération par un métamorphisme régional (enfouissement, diagénèse, épizone ...) VALLANCE (1960)

Les autres hypothèses peuvent être en première approximation considérées comme des interférences complexes de deux ou plusieurs tendances.

Nous retiendrons de toutes ces interprétations un point commun essentiel : toute lave de type basaltique possédant une paragénèse de haute température est dans un état métastable. Elle peut, sous l'action des fluides météoriques, juvéniles ou connés, cohabitant ou non avec le magma, évoluer vers un état plus stable représenté par une paragénèse de basse température.

2.2 - DISCUSSION DES DIFFERENTES HYPOTHESES

2.2.1 - Le mécanisme invoqué dans l'hypothèse C (métamorphisme général) ne peut être considéré comme suffisant pour aboutir aux caractères spilitiques décrits sur l'ensemble volcanique et hypovolcanique du Massif des Ecrins-Pelvoux.

En effet, le gradient du métamorphisme atteignant localement le faciès "schistes verts", suggère des conditions maximales de pression et/ou de température décroissantes du coeur du massif vers la périphérie. Or les transformations à caractère spilitique, non isochimiques, en sont totalement indépendantes :

- En effet, l'enrichissement en alcalin des filons est lié à des structures pétrographiques particulières (structures porphyriques et certaines zones des filons spilitiques).

- Quant au caractère albitique il est dans l'ensemble plus dispersé et plus prononcé dans les laves que dans les filons. Son développement maximal, atteint dans les gisements du Beaumont, s'accompagne d'un accroissement d'Al, et affecte des séries dont les faciès sont, pour la plupart, plus doléritiques que spilitiques.

Toutefois, le caractère hydrothermal de ce métamorphisme exprimé par la présence de filonnets de quartz-albite-épidote, pourrait en partie expliquer que les laves incluses dans la couverture sédimentaire soient en général plus transformées que la majorité du réseau filonien, si l'on suppose que l'eau provient de la déshydratation des minéraux argileux au cours de leur transformation en micas et en chlorite. Ce nouvel état d'équilibre a pu être atteint au cours d'un réchauffement estimé à 250 - 350°C par l'étude des inclusions fluides des quartz des fentes alpines (POTY et col. (1973) ; GRATIER-VERGNE-LEJEUNE (1973) ; BARTOLI (1973)).

L'eau libérée au cours de ce réchauffement serait susceptible de dissoudre puis de transporter des alcalins et d'être enfin piégée avec eux dans le réseau basique.

Mais ce mécanisme ne pourrait pas expliquer les surconcentrations générales et/ou spécifiques en K_2 des gisements de laves et celles des filons porphyriques seuls, ni l'enrichissement préférentiel des parties supérieures des coulées. Il n'expliquerait pas non plus l'intervention du CO_2 lié à la quantité d'albite.

D'autre part il est difficile de comprendre pourquoi ce métamorphisme aurait modifié chimiquement et préférentiellement les laves et les filons, sans plus affecter les roches du socle que par une chloritisation des biotites, une kaolinisation des feldspaths potassiques, une saussuriti-

sation des plagioclases et ouralitisation des pyroxènes ... etc. Ces transformations, attribuées à ce métamorphisme par les auteurs ayant étudié le socle des Ecrins-Pelvoux, sont toujours considérées comme pratiquement isochimiques.

En particulier les amphibolites massives des formations de la Lavey (LE FORT, 1971), roches à chimisme de gabbro et à minéralogie identique à celle de la paragénèse de haute température de l'ensemble dolérito-spilitique, ne sont pas affectées par une décalcification. On rencontre certaines de ces amphibolites dans le Massif du Sirac où elles sont recoupées par le réseau filonien basique et ne sont pas davantage affectées.

Par ailleurs les amas de péridotites antétriasiques, décrits dans les Massifs de l'Olan et du Vieux Chaillol (LE FORT, 1971 ; VATIN-PERIGNON et col., 1972) et uniquement représentés par des serpentinites, ne sont affectés, hormis l'hydratation, que par une transformation isochimique ; les péridots serpentinisés ne montrent notamment jamais de pseudomorphose par la chlorite et la calcite, habituelle dans la paragénèse spilitique, et que nous retrouvons dans les nodules de péridotites de la Combe du Veyre, par exemple.

Pour ces différentes raisons le métamorphisme de faciès schiste vert (première phase métamorphique alpine) ne peut être rendu responsable de toute la spilitisation. Nous préférons limiter son influence à une homogénéisation pratiquement isochimique dans le faciès schiste vert (éventuellement accompagné d'une légère hydratation) : développement de la chlorite, apparition de séricite, épidote et de veinules d'albite.

2.2.2 - L'hypothèse invoquant des fluides mobilisés au cours d'un réchauffement local (B.3.2.) est très proche de la précédente. Pour les mêmes raisons nous l'écarterons.

2.2.3 - D'autre part nous éliminerons immédiatement l'hypothèse B2, impliquant une spilitisation due aux hautes pressions des fonds océaniques, improbables dans les conditions subaquatiques du haut-fond Pelvousien.

2.2.4 - Au niveau de l'hypothèse d'une cristallisation directe (A1) les travaux expérimentaux sur la fusion des basaltes dans des conditions d'hydratation donnent peu de chances de produire un magma spilitique à basse température (YODER et TILLEY, 1962).

La cristallisation directe de l'albite, conjointement à celle du pyroxène, est de ce fait peu probable. Il faudrait donc imaginer un système de cristallisation en deux temps : une première phase orthomagmatique, suivie d'une phase deutérique ; mécanisme donc différent d'une cristallisation directe (A1) ou d'une métasomatose sodique (A2).

- Il est bon de rappeler toutefois que ces travaux expérimentaux n'ont jamais tenu compte de CO_2 dont le rôle est essentiel dans la différenciation spilitique (cf p.202). D'autre part des éléments volatils (F, Cl, etc...) rarement dosés sur ce type de roches seraient susceptibles d'abaisser les températures de cristallisation donc de rendre plus plausible l'hypothèse de la cristallisation directe.

Ces hypothèses peu probables dans leur intégralité ne seront pas retenues dans nos interprétations.

2.2.5 - Les hypothèses restantes (B1 et B31) font toutes deux appel à l'action de fluides hydrothermaux liée à l'activité magmatique. Elles diffèrent seulement par la place dans le temps de cette transformation. L'attaque par des fluides magmatiques durant les derniers stades du refroidissement (B1) semble mieux correspondre à nos observations. Nous verrons, après l'essai d'interprétation (1) que nous proposons pourquoi une transformation postérieure à la mise en place du réseau dolérito-spilitique est difficilement concevable.

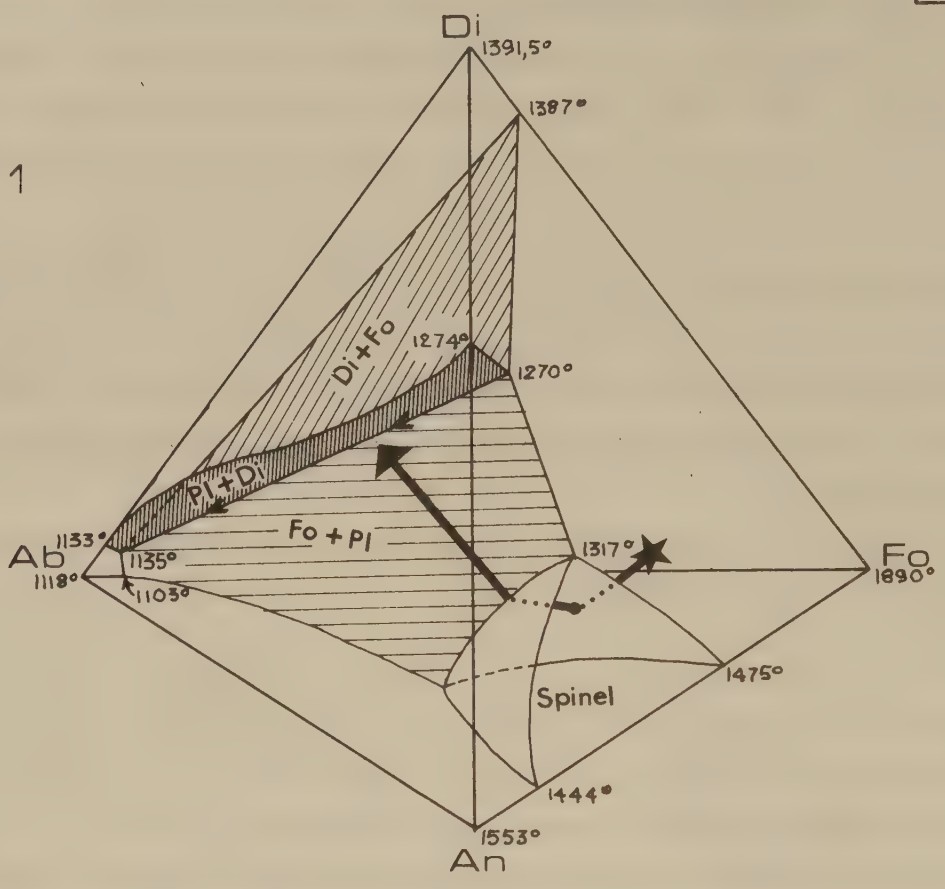
3 - ESSAI D'INTERPRETATION

Par un parallèle entre les stades de cristallisation d'un magma granitique suivant P. NIGGLI (1923) et ceux du cortège volcanique basique des Ecrins-Pelvoux, nous allons proposer une suite de transformations physicochimiques visant uniquement à une interprétation possible de nos observations.

- -

(1) Nous proposons à l'issue de notre travail, un essai d'interprétation qui vise uniquement à coordonner nos observations dans un modèle très théorique. Nous voudrions que cette interprétation soit plutôt considérée comme une hypothèse de travail que comme une conclusion.

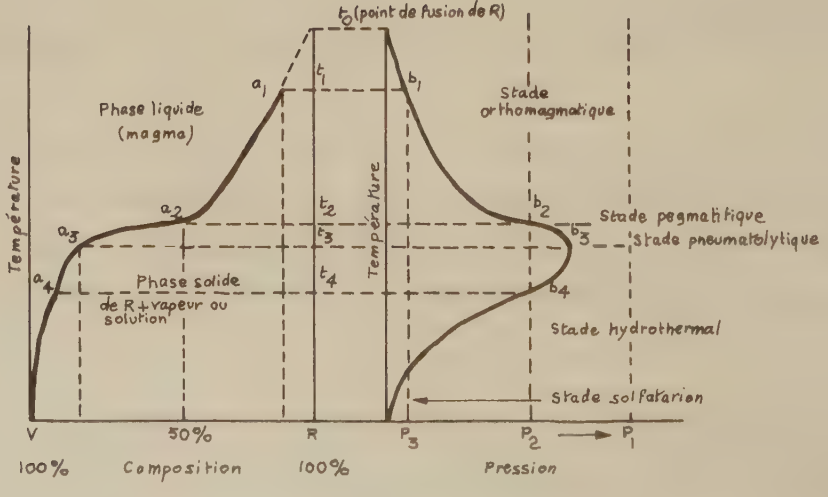
FIG 1



Système de cristallisation Ab An FoDi

d'après YODER et TILLEY 1962

FIG 2



Stades de cristallisation d'un bain silicaté d'après NIGGLI 1923

3.1 - MODELE DE P. NIGGLI ET LIGNEES DU CORTEGE DOLERITO-SPILITIQUE

On trouvera sur la fig.2 (Pl III 1) les équivalences des termes utilisés.

3.1.1 - STADE ORTHOMAGMATIQUE

Nous prendrons comme terme de base des différenciations un magma de type basaltique alcalin à olivine normative tel que l'étude minéralogique et géochimique nous a permis de le définir.

Au 1er stade du refroidissement le péridot cristallisera seul ou, éventuellement, conjointement avec un clinopyroxène calcique. Le liquide, de ce fait enrichi en Na, ne sera plus en équilibre avec le péridot qui devra fondre incongrument en pyroxène (YODER et TILLEY, 1962). On trouvera le cheminement possible de la composition chimique sur la fig.1 (Pl III 1).

Le feldspath susceptible de cristalliser à ce stade aura une composition approximativement équilibrée en Na et Ca, mais en fin de cristallisation, elle évoluera vers une composition sensiblement plus albitique.

La zonation de certains plagioclases témoigne d'ailleurs de cette évolution.

Ce mode de cristallisation classique, intervenant quasiment seul, serait représenté pratiquement sans transformation ultérieure dans les dolérites s.str.

Ces dernières sont les roches les moins carbonatées du cortège dolérito-spilitique. Les teneurs initiales moyennes en Ca, estimées par la fonction (Ca) = f (Mg) (cf p.202) sont aussi nettement inférieures à celles des autres groupes filoniens. Nous supposons donc que les dolérites s.str. représentent un terme magmatique déjà différencié et que dans les stades ultérieurs elles auraient perdu relativement moins de Ca que le reste du cortège.

- Les fluides, essentiellement H_2O, supposés sensiblement plus abondants que dans un magma basaltique se concentrerons dans la phase liquide résiduelle riche en Na, Al, Si (K) et seront tenus pour responsables de l'hydratation partielle du clinopyroxène en amphibole ainsi que de la cristallisation d'un plagioclase à tendance plus sodique (atteignant An_{30}).

L'individualisation d'un magma particulièrement enrichi en phase fluide par un mécanisme de filtre-presse, ou de ségrégation au cours de la cristallisation fractionnée, pourra conduire à l'individualisation des dolérites microgrenues à amphibole à partir des dolérites s.str. (elles apparaîssent d'ailleurs étroitement liées à ces dernières en en constituant les épontes ou les diverticules).

3.1.2 - STADE PEGMATITIQUE

A ce stade les éléments volatils inclus dans le magma, soit parce qu'ils seront concentrés à l'issue de la cristallisation du stade précédent, soit parce que leurs pressions partielles seront très élevées, auront une influence prépondérante sur le mode de cristallisation.

Par la cristallisation synchrone du feldspath et du minéral ferromagnésien (pyroxène et/ou hornblende), les dolérites ophitiques présentent des caractères pegmatitiques. Il s'agirait là d'un faciès de convergence avec les lamprophyres au sens génétique du terme (BROUSSE, 1967).

La cristallisation en système fermé de ce liquide peut aboutir tardivement à des substitutions locales de type pneumatolytique ou hydrothermal : concentrations en Na, apparition d'albite ; phénomènes effectivement apparents dans certaines dolérites ophitiques, notamment celles qui constituent la bordure de l'amas grenu du Vallon de la Selle.

3.1.3 - STADE PNEUMATOLYTIQUE

Si la preuve de l'appartenance des minettes du Valbonnais au cortège basique des Ecrins-Pelvoux pouvait être apportée on serait en présence d'un véritable stade de cristallisation pneumatolytique (BROUSSE, 1967).

En l'absence de preuves irréfutables concernant les minettes, le stade pneumatolytique serait néanmoins représenté par les dolérites porphyriques caractérisées par l'apparition de grandes lattes feldspathiques issues d'un liquide riche en K et Na. A ce stade se rattacherait également la tendance sodique tardive des feldspaths des dolérites s.str. et ophitiques.

Des effets secondaires, telle la cristallisation de phosphates de Mn, Li, Fe que l'on a supposés (p.221) pourraient être envisagés à ce stade.

3.1.4 - STADE HYDROTHERMAL

Il est difficile à individualiser car il peut apparaître à tous les niveaux de mise en place, d'une façon plus ou moins complète, fonction des fluides initiaux et de leur quantité encore disponible après les cristallisations réalisées aux stades précédents.

Lorsque ces fluides sont en-dessous des conditions critiques de l'eau (450°C) les ions H^+ sont sous la forme du composé H_2O qui devient un vrai solvant, pour le CO_2, les alcalins, le bicarbonate de Ca. Au-dessus de cette température H_2O et CO_2 sont entièrement miscibles et interviennent comme une phase binaire sauf pour de très hautes pressions (PF supérieures à 3,5 Kb) (HOLLAND, 1967). Le rôle indépendant de l'eau et du CO_2 ne peut donc être envisagé qu'en-dessous de 450° dans cette phase hydrothermale, mais leurs fugacités différentes pourraient déjà avoir influencé la cristallisation primaire des minéraux.

La cristallisation de la calcite envisagée à ce stade, dépend de sa solubilité.

Celle-ci croît avec :

+ la pression partielle de CO_2 libre en-dessous de 150° et la fugacité de CO_2 total au-dessus de cette température.

+ l'abaissement de température

La calcite présente, en outre, un minimum de solubilité aux alentours de 175° si elle est en concurrence avec des sels (Na Cl, $LiHCO_3$ ...) présents aussi en solution (HOLLAND, 1967).

- L'influence de l'abaissement de température peut être prépondérant au niveau de la montée dans les cheminées et de l'épanchement des laves. Le carbonate restera longtemps en solution et aura tendance à être véhiculé hors de la coulée par les composés volatils.

Peut être serait-il possible de voir dans certains petits bancs carbonatés des horizons intercalaires, la précipitation tardive de ce carbonate. Des dosages de Li, Mn ainsi que des mesures du rapport isotopique $^{12}C/^{13}C$ détermineraient la validité de cette supposition.

- L'effet de sel dû aux hautes teneurs en Na, en Li ainsi qu'à l'activité du CO_2 peut devenir prépondérant au cours d'un refroidissement lent accompagnant une ascension de type intrusif en système relativement fermé. (Partie S du dyke W de Crupillouse). Le carbonate va alors précipiter très vite d'abord dans les vides de la structure (films interminéraux et vacuoles) et même lorsqu'il est concentré vers le haut et les bordures des gisements il peut cristalliser dans le verre et oblitérer la trame feldspathique.

Dans les gisements les plus proches des centres d'émission, on remarque que la phase volatile résiduelle ou associée sous forme de carbonates est composée en majorité de CO_2 (jusqu'à 5 fois la teneur en eau dans le dyke de Crupillouse).

Cette constatation est en accord avec le résultat des mesures effectuées sur les gaz émis par l'Etna (LE GUERN, 1972). La teneur en eau, qui inclut d'ailleurs tous les éléments volatils non dosés y jouerait donc un rôle quantitatif secondaire.

3.2 - EFFETS SECONDAIRES DU STADE HYDROTHERMAL

A ce stade peut être attribuée l'altération finale des péridots, qui auraient pu subsister, par une pseudomorphose en chlorite accompagnée d'une éventuelle cristallisation de calcite. Les pyroxènes et hornblendes peuvent être aussi partiellement chloritisés.

La cristallisation de sulfures de Fe, Cu, Zn, et de carbonates de Cu toujours présents (en faible proportion) dans les fractions lourdes des tris de minéraux que nous avons effectués pourrait traduire aussi ce stade hydrothermal.

3.3 - BILAN

A l'issue de cet essai de mise en évidence des diverses réactions régissant l'ensemble volcanique, le cortège intrusif et effusif dolérito-spilitique des Ecrins-Pelvoux apparaitrait homogène et complet dans son ensemble et montrerait, à partir d'un magma originel basaltique, différents stades d'évolution plus ou moins parfaitement réalisés.

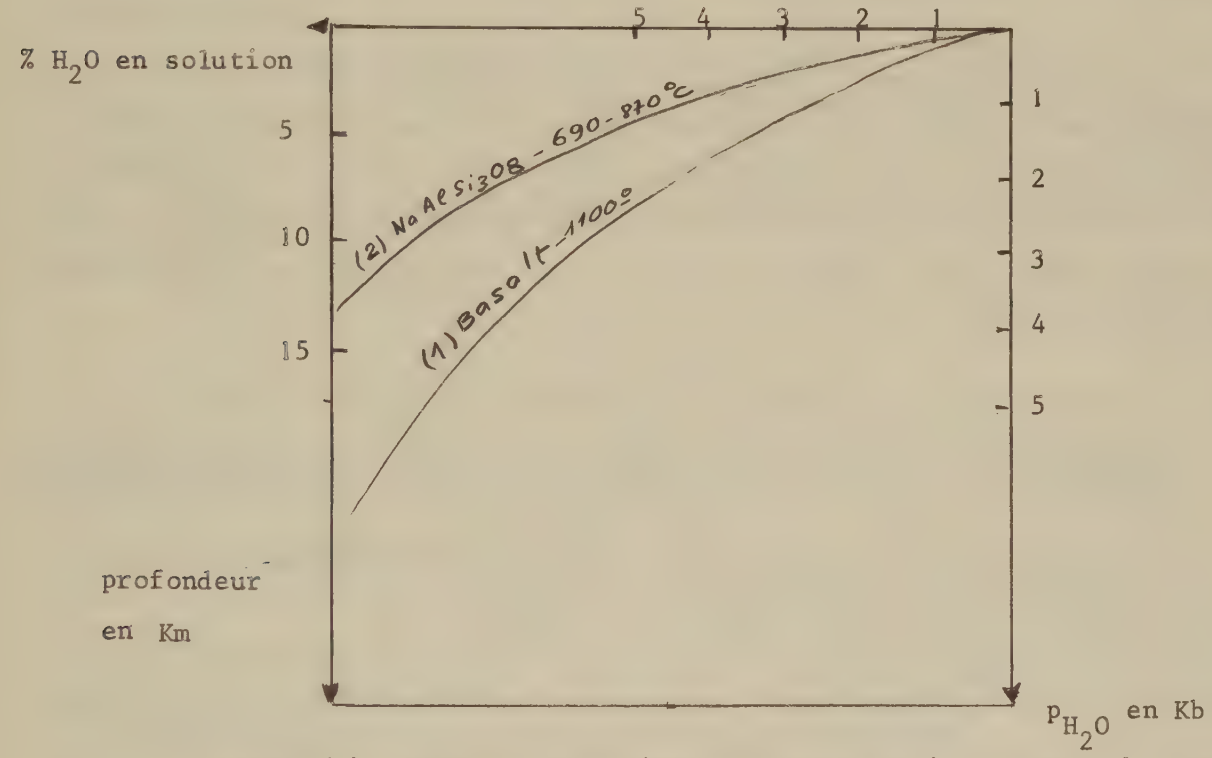
Les dolérites s.str. représenteraient le stade orthomagmatique (et les dolérites microcristallines à amphibole leurs dérivées directes) mais elles pourraient être en partie oblitérées aux stades pegmatitique et pneumatolytique par les mêmes processus que ceux aboutissant à la cristallisation des dolérites ophitiques et prophyriques. Quant au stade hydrothermal, dont l'intervention est possible à tous les niveaux, par l'individualisation essentielle des carbonates, il se réaliserait différemment dans les laves et les filons. Les caractères spilitiques de cet ensemble seraient donc l'aboutissement de l'action d'une phase deutérique dont l'intervention pourrait débuter dès la cristallisation des clinopyroxènes (aspect apparenté à une origine primaire des caractères spilitiques) et se prolonger par des mécanismes de substitution hydrothermaux (aspect apparenté aux théories métasomatiques).

Le rôle du métamorphisme ultérieur serait alors limité à une homogénéisation de la paragénèse schiste vert, déjà fortement amorcée dans ces mécanismes, n'entraînant que des migrations chimiques mineures.

4 - CONSEQUENCES PREVISIONNELLES POSSIBLES DE L'HYPOTHESE GENETIQUE RETENUE

4.1 - PROFONDEUR DU DEBUT DE LA TRANSFORMATION HYDROTHERMALE

En supposant que la phase deutérique ne devienne indépendante du magma primaire que lorsque la composition du liquide magmatique est saturée en eau (pour permettre les échanges hydrothermaux) nous pouvons nous servir des courbes de BURNHAN (1967) pour déterminer la profondeur minimale du début des réactions de substitutions.



La courbe (1) permet de déterminer la concentration en eau d'un magma basaltique saturé, en fonction de la profondeur.

Dans notre hypothèse les teneurs en H_2O^+ - CO_2 mesurées sur les dolérites s.str. (parce qu'elles sont les moins affectées par les transformations) peuvent être considérées comme à peine trop élevées. Afin de se rapprocher le plus des conditions expérimentales nous retiendrons uniquement celles pour lesquelles CO_2 est inférieur à 0,3 %.

- Pour les dolérites s.str. du Vallon de la Selle (2 % H_2O), une pression partielle de l'eau correspondant à 0,75 Kb est nécessaire pour maintenir cette eau en solution dans le magma. Cette pression n'est atteinte qu'à des profondeurs de 3 Km qui sont tout à fait compatibles avec les déductions faites d'une reconstitution sommaire de la topographie actuelle de la pénéplaine triasique au-dessus du Triéou de la Boucheyère (Vallon de la Selle).

- Les dolérites microcristallines à amphibole, atteignant 3 % en eau résiduelle, représenteraient la cristallisation d'un liquide de composition intermédiaire entre les courbes (1) et (2). Avec elles les profondeurs sont du même ordre que précédemment.

- Avec les dolérites à chlorite du même secteur dont les compositions se rapprochent de la courbe (2) les proportions de 3,5 % ne devraient pas être dépassées. Le fait qu'elles atteignent parfois 4 % indiquerait soit qu'elles représenteraient un état de sensible sursaturation compatible avec leur faciès franchement hydrothermal, soit qu'elles auraient été réhydratées dans la phase métamorphique ultérieure.

4.2 - INFLUENCE DE LA HAUTE PRESSION FLUIDE SUR L'ENCAISSANT DU RESEAU FILONIEN

L'excès d'eau, non susceptible d'être retenu dans la trame minérale va devoir s'échapper au-delà du gisement.

- En percolant dans le conduit filonien lui-même, cette eau va jouer le rôle d'une solution hydrothermale, favorisant les ultimes échanges, apparentés à ceux décrits par FONTEILLES (1968) sur les séries de la Bruche et de la Brévenne.

- En s'échappant des épontes ces solutions seraient responsables de l'altération des gneiss de l'amas grenu du Vallon de la Selle, altération des yeux feldspathiques des orthogneiss de Crupillouse et nourrissage possible des muscovites sécantes observées très localement au contact du dyke W de l'Aiguille Fourchée.

4.3 - DISCUSSION

L'hypothèse que nous avons retenue n'a pas la prétention de résoudre tous les problèmes posés par la spilitisation.

En particulier le magma que nous évoquons doit être suffisamment riche en fluides. Nous l'avons interprété par un dégazage progressif et lent, rarement et que localement observé dans les phénomènes actuels.

Une grande richesse initiale en éléments volatils pourrait aboutir au même résultat, mais le problème de l'origine de ces fluides ne serait pas pour autant résolu.

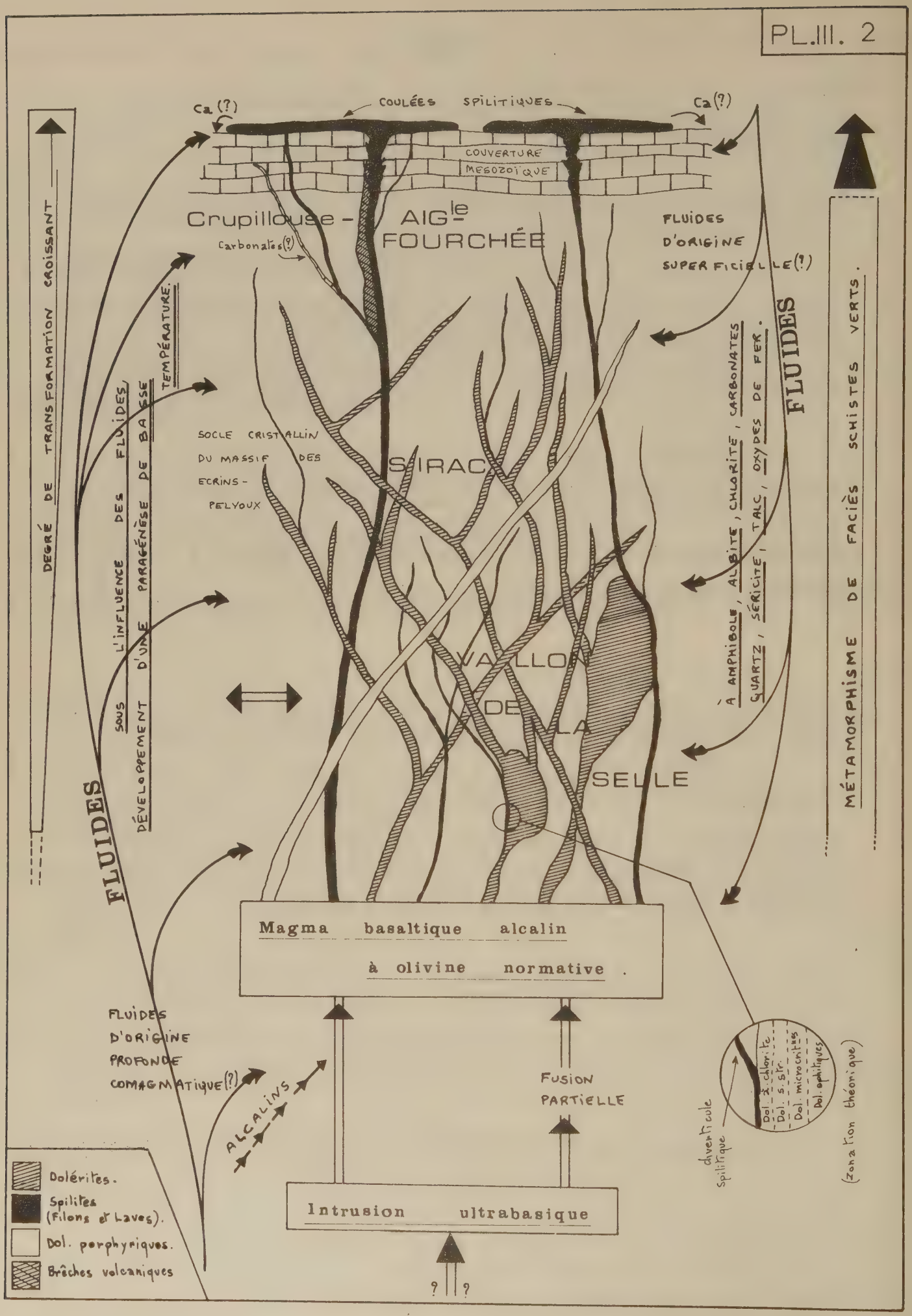
Ces problèmes laissent en fait supposer que des variations dans les conditions de la génèse des formations volcaniques à caractère spilitique peuvent évoluer au cours de l'histoire des ères géologiques pour ne subsister que très localement et peut être d'une manière très déformée à l'époque actuelle.

Même les techniques les plus modernes ne peuvent vérifier ce postulat.

- Par des dosages isotopiques des éléments de la phase fluides (principalement de O et C et, éventuellement de S), il serait intéressant de déterminer la probabilité d'une origine juvénile des fluides résiduels.

Les résultats de tels dosages annoncés par SAUPE (1973) seront d'autant plus intéressants que cet auteur envisage une génèse sensiblement équivalente à celle proposée ici, pour des roches présentant les mêmes caractères pétrographiques et géochimiques, et qui n'ont pas été affectées par un métamorphisme ultérieur d'intensité supérieure à celle de l'anchizone.

PL.III. 2


Ca (?)
COULÉES SPILITIQUES
Ca (?)
COUVERTURE MÉSOZOÏQUE
Crupillouse – AIGle FOURCHÉE
Carbonates (?)
FLUIDES D'ORIGINE SUPERFICIELLE (?)
DEGRÉ DE TRANSFORMATION CROISSANT
SOUS L'INFLUENCE DES FLUIDES, DÉVELOPPEMENT D'UNE PARAGÉNÈSE DE BASSE TEMPÉRATURE.
SOCLE CRISTALLIN DU MASSIF DES ECRINS – PELVOUX
SIRAC
VALLON DE LA SELLE
FLUIDES
À AMPHIBOLE, ALBITE, CHLORITE, CARBONATES
QUARTZ, SÉRICITE, TALC, OXYDES DE FER.
MÉTAMORPHISME DE FACIÈS SCHISTES VERTS.
FLUIDES
Magma basaltique alcalin à olivine normative.
FLUIDES D'ORIGINE PROFONDE COMAGMATIQUE (?)
ALCALINS
FUSION PARTIELLE
Dol. à chlorite
Dol. s. str.
Dol. microcristallines
Dol. spilitiques
diverticule spilitique
(Zonation théorique)
Intrusion ultrabasique
? ?
Dolérites.
Spilites (Filons et Laves).
Dol. porphyriques.
Brèches volcaniques

5 - CONCLUSIONS GENERALES

D'après les résultats précédents nous pouvons bâtir un schéma synthétique qui coordonne nos observations et récapitule les problèmes soulevés au cours de notre étude.

Etant donné l'état des connaissances nombreux points d'interrogation ne peuvent être levés mais un certain nombre d'études complémentaires que nous avons suggérées devraient cependant permettre de clarifier ce tableau.

Les relations génétiques entre laves spilitiques et filons basiques du Massif des Ecrins-Pelvoux, mises en évidence par notre étude gîtologique, pétrographique, minéralogique et géochimique, nous ont permis d'entrevoir le mécanisme possible du processus de spilitisation.

Les méthodes d'analyse utilisées nous ont clairement montré le rôle mineur du métamorphisme dans ce processus. Ces méthodes, et les éléments nouveaux que nous apportons devraient normalement contribuer à mieux comprendre le phénomène spilitique.

A N N E X E -I- (R.Aumaître)

DETERMINATION DE LA COMPOSITION APPROCHEE DES CHLORITES AU MOYEN DES RAYONS X

En l'absence de données chimiques, l'utilité des rayons X dans l'étude des chlorites n'est plus à démontrer. Dans le cas de nos échantillons(hor.inter.& spilites)la finesse des minéraux est telle que les méthodes optiques ne permettent aucune détermination valable.

I -INTRODUCTION

La structure des chlorites peut s'interprêter comme une alternance de feuillets de type mica et de type brucite; leur composition chimique s'exprime par la formule:

$$Mg_{6-x-y}\ {}^{-VI-}Fe^{t}_{y}\ Al_{x} \ : \ (Si_{4-x}\ Al_{x})\ {}^{-IV-}O_{10}\ (OH)_{8}$$

(formule de MAUGUIN - PAULING 1930 pour chlorites trioctaédriques)

½ cellule

Deux principales séries de substitutions ioniques ont lieu :

- Al^{3+}, et probablement de petites quantités de Ti^{4+}, Fe^{3+}, Cr^{3+} remplacent Si dans les couches tétraédriques .
- des ions divalents et trivalents tels que Mg^{2+}, Fe^{2+}, Mn^{2+}, Cr^{3+} et Al^{3+} se remplacent mutuellement dans les couches octaédriques.

L'analyse d'un diffractogramme de chlorite permet de déterminer, d'une part l'Al lié à la variation de l'espacement basal d(001), et d'autre part la teneur en Fe, Mn octaédrique , en fonction, soit du paramètre b , soit de la variation des intensités des réflexions basales.

II- DETERMINATION de l'Al TETRAEDRAL.

L'espacement basal d(001) dépendant de l'épaisseur des feuillets de type mica et de type brucite , ainsi que des forces de liaison des feuillets entre eux, la variation de d(001)est en relation directe avec la valeur de Al .

Les abaques ou les équations de régression reliant d(001) à l'Al tétraédral ou à l'Al tétraédral et octaédral ont été données par divers auteurs.*

La meilleure estimation de l'Al tétraédral est fournie par l'équation (1) de BRINDLEY (1961), ou celle (2) de KEPEZHINSKAS (1965):

(1) $d(001) = 14{,}55\ \text{Å} - 0{,}29\ x$

(2) $d(001) = 14{,}648\ \text{Å} - 0{,}378\ x$

L'estimation de $Al^{IV} + Al^{VI} + Cr$ s'obtient à partir de l'équation (3) de ALBEE (1962) :

(3) $d(001) = 14{,}52\ \text{Å} - 0{,}14\ w$

ou $W = Al^{IV} + Al^{VI} + Cr$ en atomes pour 10 cations.

---

* VON ENGELHARDT (1942), BANNISTER and WHITTARD (1945), HEY (1954), BRINDLEY and GILLERY(1956), KOVALEV(1956), NELSON and ROY(1958), SHIROZU(1958), GILLERY(1959), BRINDLEY(1961), ALBEE(1962) et KEPEZHINSKAS (1965).

Pour déterminer l'Al tétraédral (Exp.tableau A), il suffit de mesurer les espacements d(001) des raies 001,002,003,004,005, puis d'établir la moyenne des valeurs d(001) obtenues pour chaque ordre de réflexions : d(001)x1= d(001), et de reporter ensuite le résultat dans l'une des deux équations ci-dessus.

L'erreur calculée est en moyenne de 10 % soit 0,1 atome de Al^{IV} [BAILEY (1972)]

III- DETERMINATION DE LA TENEUR EN Fe, Mn octaédrique .

III-1- Méthode du paramètre b ou d(060) .

De nombreux auteurs*, ont étudié l'influence de la composition de la couche octaédrique sur le paramètre b . Le remplacement de Mg^{++}(rayon ionique 0,78 Å) par Al^{3+}et Fe^{3+} (rayons ioniques respectivement : 0,57 et 0,67 Å) tend à réduire la dimension de la cellule unitaire, alors que le remplacement par Fe^{2+}(rayon ionique: 0,83 Å) tend à l'augmenter; cette variation s'évalue en mesurant l'espacement d de la réflexion 060 . La relation est la suivante:

$$b = d\,(060) \times 6$$

d est toujours compris entre 1,53-1,54 Å pour toutes les chlorites trioctaédrales . (le paramètre b permettant ainsi de faire une distinction nette entre chlorites di - et trioctaédrales).

La meilleure estimation du nombre d'atomes lourds octaédraux est donnée par les équations de régression suivantes :

(4) b = 9,22 Å + 0,028 (Fe^{++}) Von ENGELHARDT(1942)
(5) b = 9,210 Å + 0,039 (Fe^{++},Mn) SHIROZU (1958)
(6) b = 9,210 Å + 0,037 (Fe^{++},Mn) SHIROZU modifié (1961)

Fe^{++} étant le principal atome lourd des chlorites, on lui assimile en général les petites quantités de Mn^{2+}, Cr^{3+}, et Fe^{3+} [des teneurs supérieures à 4 % de Fe_2O_3 soit 0,4 Fe^{3+}influent sur d (001) donc sur la répartition de l'Al tétraédrique, d'où l'ancienne distinction entre orthochlorites et leptochlorites ; pour les leptochlorites HEY(1954)introduit une correction: -0,05 Fe^{+++}dans la formule (1). Il y aura donc des écarts importants dans les mesures des chlorites riches en fer ou fortement oxydées].

L'erreur calculée est ici également d'environ 10 % soit approximativement 0,1 atome de (Fe^{++}, Mn^{++}). (BAILEY 1972)

III- 2-Méthode des intensités des réflexions basales.

Le paramètre b ne pouvant être utilisé avec satisfaction que s'il n'y a pas d'interférences avec la raie 060 SHIROZU (1958), ECKSTRAND (1962), d'autres méthodes sont nécessaires pour évaluer la teneur en Fe , Mn octaédrique.

Nous ne parlerons pas des méthodes proposées par BROWN(1955), BRINDLEY et GILLERY(1956) et SCHOEN(1962) qui nécessitent la conversion des intensités en facteurs de structure, méthodes trop difficiles à mettre en application.

---

* en particulier Von ENGELHARDT (1942), BRINDLEY and MAC EVAN (1953), HEY(1954), SHIROZU (1958), RADOSLOVICH (1962) et KEPEZHINSKAS(1965)

PETRUK (1964) propose une procédure simplifiée utilisant les relations empiriques entre les données des intensités des réflexions basales et les teneurs en Fe de la chlorite . Il détermine le degré d'asymétrie de la distribution des atomes lourds des feuillets octaédraux par le rapport $\frac{I003}{I005}$ et le compte total des atomes lourds à partir du rapport ..... $\frac{I002+I004}{I003}$.

Comme Fe est généralement le principal atome lourd des chlorites, cette approche fournit une bonne approximation de la teneur en fer des chlorites.

Les avantages de cette méthode sont :

- sa grande simplicité: il n'y a pas à convertir les intensités en facteurs de structure .
- son domaine d'application: les déterminations sont possibles, sans avoir recours à la séparation de la chlorite car les raies de diffraction des feldspaths, du quartz et des carbonates n'interfèrent pas avec celles de la chlorite.

Le principal inconvénient reste sa marge d'erreur d'environ 20 % (BAILEY 1972).

+ mesure des intensités des réflexions basales et calcul de y

On intègre la mesure des intensités des réflexions d'ordre 001 de la manière suivante :hauteur du pic (mesurée entre la valeur moyenne du bruit de fond en base et en sommet de pic) multipliée par la largeur du pic à mi-hauteur .(les intensités mesurées par comptages donnent des résultats identiques).

Le report de la valeur du rapport $\frac{I002 + I004}{I003}$ dans la figure 1 permet d'obtenir la valeur de $y = Fe^{2+} + Mn^{2+} + Cr^{3+} + Fe^{3+}$

La courbe calculée par PETRUK (1964) a été modifiée, en fonction d'analyses nouvelles inédites de J. BOCQUET, et nous avons également reporté sur cette courbe quelques analyses de chlorites provenant du fichier A.S.T.M.

IV - METHODE ET CLASSIFICATION UTILISEES DANS NOTRE ETUDE

IV-1- Méthode*

. Pour le calcul de l'Al tétraédrique (et octaédrique qui théoriquement a même valeur) nous avons utilisé l'équation (1)

. Pour le calcul du nombre d'atomes lourds des feuillets octaédraux ,étant donné " la finesse " des chlorites des horizons intercalaires nous avons opéré sur roche totale en utilisant la méthode de PETRUK (1964) et la courbe modifiée** (tableau A) sans tenir compte du facteur de correction.En l'absence de mica, calcite, ou d'autres minéraux masquant la raie 060 des chlorites, nous avons mesuré d (060) en prenant comme étalon interne la raie 211 du quartz à 1,541 Å . Dans ces quelques cas , les mesures par le paramètre b et par la méthode de PETRUK donnent des valeurs très éloignées, même lorsque l'on opère sur des minéraux triés.(Exp.tableau A)

---

* Les conditions d'enregistrement sont les mêmes que celles données lors de l'étude de la cristallinité des micas.

** (Cf.Fig.1 et ...)

IV-2-Classifications.

Nous avons utilisé deux classifications :

1) celle de HEY (1954) Fig.(2) qui utilise les valeurs de Si , de Fe^{total} et du rapport $R = \frac{Fe^{total}}{Fe^{t} + Mg}$

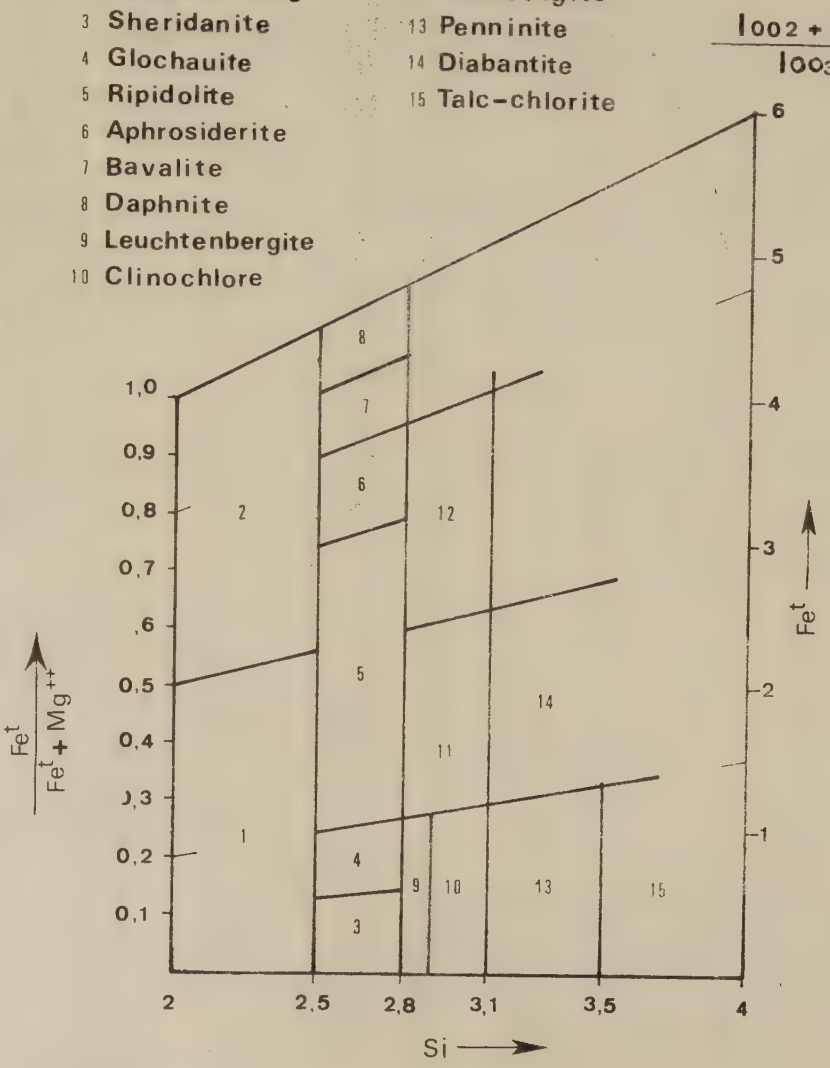
Ne pouvant déterminer,par les rayons X, que la valeur du Fer total , nous avons utilisé cette classification pour la nomenclature de nos chlorites .

2) celle de FOSTER (1962) Fig.(3) qui est couramment employée actuellement . Elle est basée sur la valeur de Si et du rapport $\frac{Fe^{++}}{Fe^{++} + Mg^{++}}$

Pour l'utiliser, nous avons été obligés d'assimiler Fe^{t} à Fe^{++} .

Les tableaux A et B résument sur un exemple les différentes opérations à effectuer pour la détermination radiocristallographique de la formule structurale d'une chlorite, et pour la conversion, selon la méthode de FOSTER(1962) de l'analyse chimique en formule structurale.

1 Corundophilite
2 Pseudothuringite
3 Sheridanite
4 Glochauite
5 Ripidolite
6 Aphrosiderite
7 Bavalite
8 Daphnite
9 Leuchtenbergite
10 Clinochlore
11 Pycnochlorite
12 Brunsvigite
13 Penninite
14 Diabantite
15 Talc-chlorite



(Hey 1954.)

fig. 2

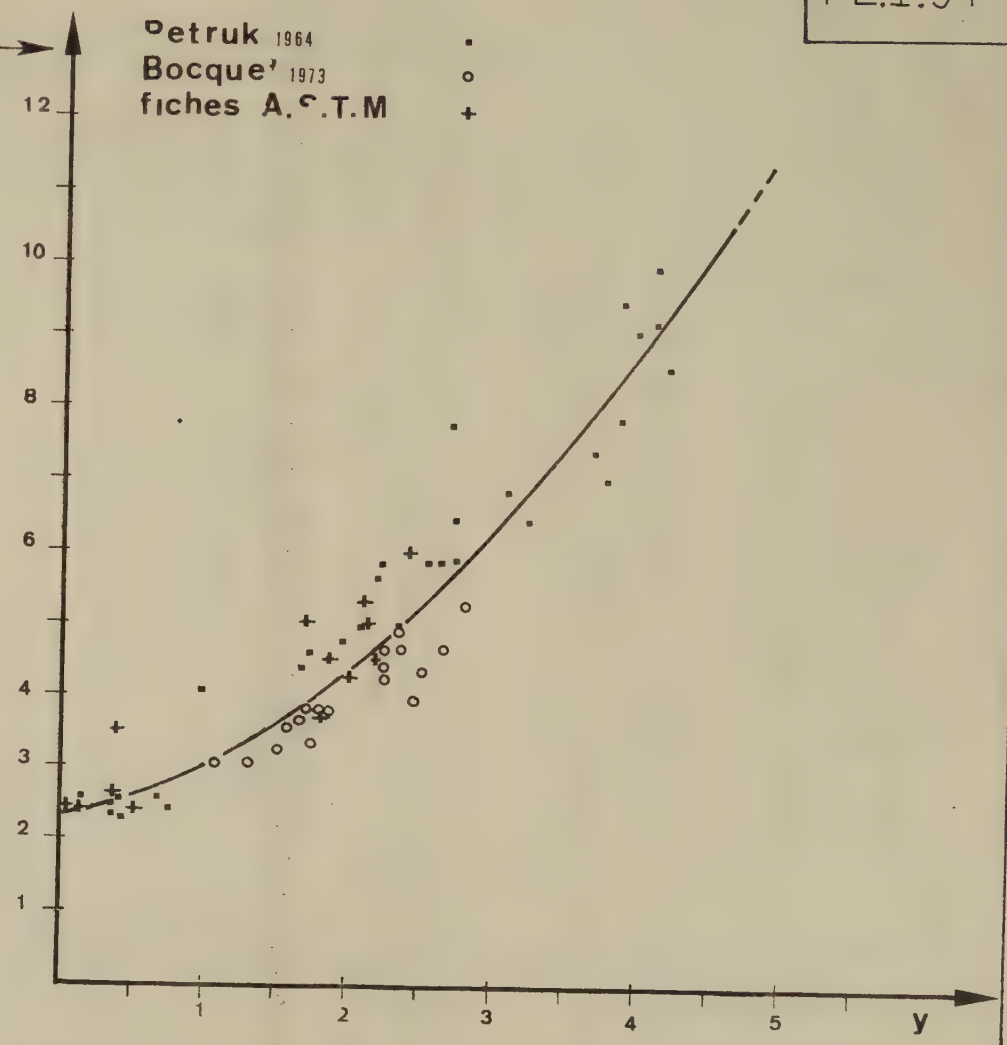
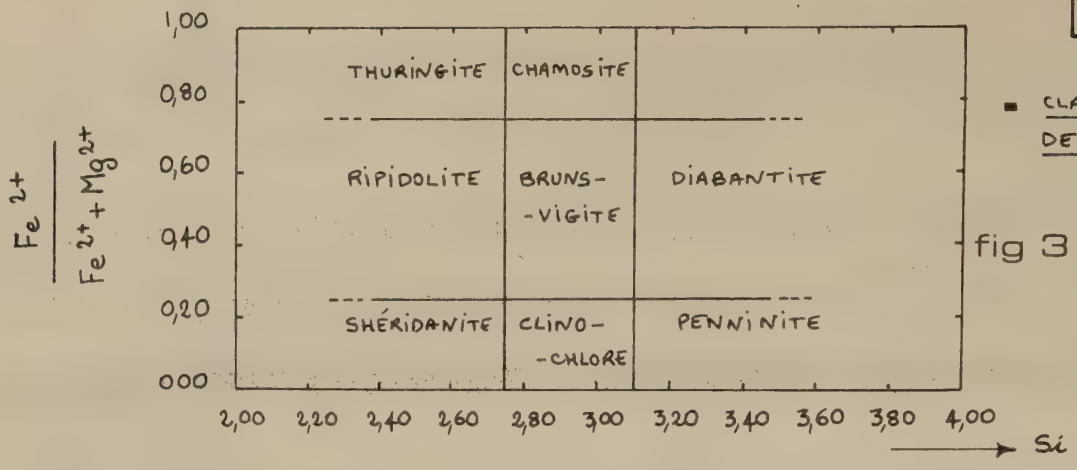


fig. 1

PL.I.55



■ CLASSIFICATION DE M. FOSTER [1962]

fig 3.

EXEMPLE DE DETERMINATION DE CHLORITE. (D'après l'analyse radiocristallographique)

1- MESURES.

TABLEAU A

00l	d(00l)	d(00l)×l = d(001)	h hauteur	l largeur à h/2	Ii Ii = h×l×100
001	14,09	14,09			
002	7,092	14,18	31,4 cm	0,39 cm	1224
003	4,732	14,20	10,8 cm	0,44 cm	475
004	3,550	14,20	22,2 cm	0,49 cm	1100
005	2,84	14,20			
060	2,03				
		70,87	TOTAL		
b= 9,2646		14,176	Moyenne d(001)		

2. CALCUL DE L'Al. (Brindley 1961)

$$x = \frac{14,55 - d(001)}{0,29} \qquad x = \frac{14,55 - 14,176}{0,29} = \boxed{1,29 = x}$$

3. CALCUL DU NOMBRE D'ATOMES LOURDS : $y = Fe^t = Fe^{++} + Fe^{+++} + (Mn^{2+} + Cr^{3+})$

3.1. Méthode du paramètre b (sur minéral tué)
Shirozu (in Brindley 1961)

$$y = \frac{b - 9,210}{0,037} \qquad y = \frac{9,2646 - 9,210}{0,037} = \frac{0,0536}{0,0370} = \boxed{1,45 = y}$$

3.2 Méthode des intensités des réflexions basales.
Petruk (1964)

$$\frac{I_{002} + I_{004}}{I_{003}} = \frac{1224 + 1100}{475} = 4,9 \longrightarrow \text{Fig 1} \longrightarrow \boxed{y = 2,25}$$

4 FORMULE STRUCTURALE (1/2 cellule)

$$\left(Mg_{6-x-y}\ Fe^t_y\ Al_x\right)\left(Si_{4-x}\ Al_x\right)O_{10}\ (OH)_8$$

$$\left(Mg_{2,46}\ Fe^t_{2,25}\ Al_{1,29}\right)\left(Si_{2,71}\ Al_{1,29}\right)O_{10}(OH)_8$$

R=0,47 Pycnochlorite

TABLEAU B

EXEMPLE DE CALCUL DE LA FORMULE STRUCTURALE D'UNE CHLORITE. (Ech.B.p.)
(d'après M.D.FOSTER.(1962)

	% poids d'oxydes		Equivalent gramme en constituants cationiques		Valeurs cationiques par cellule unitaire		Cations par cellule unitaire		Cations par ½ cellule	
SiO_2 →	29,15 :	(60,04:4) = 1,940 :	0,08159	=	23,78	: 4 =	5,94	→	2,97	
							2,06	→	1,03	
Al_2O_3 →	16,30 :	(101,96:6) = 0,959 :	0,08159	=	11,75	: 3 = 3,92	8.		4.	
							1,86	→	0,93	R_3 +
Fe_2O_3 →	12,55 :	(159,70:6) = 0,471 :	0,08159	=	5,77	: 3 =	1,92	→	0,96	1,89
Fe O →	13,20 :	(71,85:2) = 0,367 :	0,08159	=	4,50	: 2 =	2,25	→	1,13	R^2 +
Mg O →	17,00 :	(40,82:2) = 0,832 :	0,08159	=	10,20	: 2 =	5,10	→	2,55	3,68
		4,569:56=0,08159			56,00		11,13		5,57	
H_2O-	0,75									
H_2O+	9,60									
H_2O^t =	10,35 :	(18,016:2) = 1,149 :	0,07941	=	14,47	: 1 =	14,47		7,24	
		5,718:72=0,07941			70,47					

O=18,00-7,24=10,76

Formule structurale pour la ½ cellule:

$$Mg_{2,55}\underbrace{Fe^{3+}_{0,96}Fe^{2+}_{1,13}}_{Fe^t_{2,09}}Al_{0,93}(Si_{2,97}Al_{1,03})\ O_{10,76}(OH)_{7,24}$$ R=2,09:4,64= 0,45 Pycnochlorite

[Rappel Détermination RX (Pl.I.55)] → $Mg_{2,46}\ Fe^t_{2,25}Al_{1,29}(Si_{2,71}Al_{1,29})\ O_{10}\ OH_8$ R=0,48 Pycnochlorite

n° éch.	(1)	(2)	Si	Al	Fe	Mg	Ca	Na	K	Ti	Mn	H	C	O	Ba	Co	Cr	Cu	Ni	Sr	V	Li	Rb
S0645b	★	●*	22.61	7.63	8,15	5.57	5.21	1.96	.97	1.04	.12	.25	.14	44.81	87	39	474	117	529	376	156	30	49
S0645c	★	●*	21.42	8.14	6.55	4.52	6.90	2.06	.97	.88	.12	.26	1.06	46.63	150	38	454	94	510	331	141	30	49
S0645e	★	●*	22.08	8.38	8.22	3.90	5.65	2.63	1.24	1.62	.14	.20	.46	46.10	203	39	320	89	502	367	232	22	40
S0645f	★	●*	21.42	8.77	7.43	1.35	5.85	2.06	.87	.85	.12	.30	.41	49.63	192	48	667	90	609	412	172	60	44
SN62a	●	●○	18.82	8.29	10.50	6.36	3.36	1.79	.79	1.35	.15	.31	.12	47.80						164			58
SN68	■	●○	21.54	8.09	8.40	4.85	5.86	2.34	1.91	1.32	.15	.17	.34	44.79						350			143
1	◆	■○	21.55	7.59	7.55	5.09	4.50	2.15	2.49	.93	.20	.35	.46	45.40						141			254
2	◆*	■○	21.60	7.70	8.91	5.30	4.43	2.41	1.66	.92	.17	.40	.32	45.76						127			243
3	◆	■○	22.53	7.86	8.71	5.06	3.75	2.74	1.53	1.04	.15	.37	.09	45.71						144			186
B	◆	■○	21.85	8.52	8.23	4.37	5.46	2.93	1.28	1.10	.12	.22	.30	45.00						399			97
C	●○	■○	21.38	8.20	8.87	5.09	5.43	2.70	1.32	1.04	.12	.34	.16	45.46						447			83
D	●○	■○	21.24	8.20	8.65	5.15	5.32	2.67	1.49	.96	.15	.32	.35	45.47						400			101
E	●○	■○	21.45	8.12	8.64	5.00	5.21	2.52	1.49	1.07	.12	.30	.28	45.05						413			119
F	◆	■○	21.47	8.52	8.56	4.91	5.15	2.82	1.25	1.08	.15	.27	.41	45.50						339			77
G	■	■○	21.66	8.04	8.04	4.91	5.75	2.26	2.20	1.20	.15	.19	.42	45.05						362			196
H	■	■○	21.10	7.99	8.41	5.30	4.93	2.48	1.04	1.31	.15	.41	.53	46.22						263			71
I	■	■○	21.17	8.04	8.05	5.45	5.86	2.30	1.70	1.20	.15	.33	.29	45.41						355			137
J	■	■○	21.57	7.99	7.88	5.25	5.36	2.30	2.07	1.13	.12	.25	.40	45.12						334			190
K	■	■○	21.64	8.31	8.15	4.85	4.57	2.56	1.95	1.38	.15	.36	.27	45.88						323			165
G'	■	■○	21.85	8.25	7.83	4.79	5.36	2.57	1.70	1.25	.15	.31	.23	45.56						382			108
H'	■	■○	21.90	7.91	7.97	5.00	5.21	2.48	1.74	1.13	.12	.30	.21	45.12						362			107
I'	■	■○	21.48	7.94	8.09	5.00	5.47	2.30	1.62	1.29	.12	.33	.37	45.60						342			109
J'	■	■○	21.55	8.10	8.07	5.34	5.15	2.41	1.86	1.32	.12	.23	.38	45.18						346			134
K'	■	■○	21.53	8.09	8.63	5.42	5.82	2.52	1.12	1.26	.15	.27	.22	45.50						386			63
L	★○	■○	22.90	8.47	8.54	3.65	5.04	3.08	.87	1.49	.12	.23	.14	45.56									
M	▲○	■○	22.60	8.76	7.54	3.44	3.72	3.71	.83	.93	.73	.54	.25	47.36									
CR 1	□	■○	25.68	7.48	5.99	3.86	3.18	.81	3.94	.54	.12	.30	.40	47.60						250			192
CR 2	□	■○	26.02	6.90	5.29	3.95	3.14	1.15	3.11	.65	.15	.40	.67	47.52						290			167
CR 3	□	■○	25.36	7.27	5.18	5.73	2.93	.67	2.82	.54	.12	.37	.44	47.70						225			147
FEP 1	□	■○	26.24	7.85	4.34	3.80	2.50	1.63	4.40	.54	.08	.32	.32	48.35									
FEP 2	□	■○	24.33	7.49	4.96	5.09	2.68	1.22	3.40	.60	.12	.36	.73	49.13									
GRA	□	■○	24.70	6.64	5.16	5.82	4.36	1.74	2.20	.45	.08	.42	.46	47.54						770			135
V 1-7	□	■○	26.27	7.54	5.30	5.00	1.61	1.00	2.99	.59	.12	.38	.30	48.49									
V 1-9	□	■○	24.40	6.48	5.22	4.95	4.72	1.52	3.07	.72	.12	.53	.38	47.80						539			146
V 1-12	□	■○	25.92	6.67	6.07	6.69	2.14	1.15	.66	.53	.08	.54	.14	48.99									
4-1	▼	●○	21.83	9.18	7.42	3.35	2.86	.29	7.30	1.04	.12	.14	1.00	45.40						160			209
4-3	□	●○	26.20	7.04	4.91	3.77	3.43	1.70	3.94	.48	.12	.30	.15	47.44						518			228
4-4	□	●○	22.90	6.61	6.41	7.11	3.10	.48	2.53	.62	.15	.40	1.01	46.53						256			105
451	□	■○	24.75	6.61	5.51	6.24	3.25	1.85	3.90	.63	.08	.29	.12	45.44						472			349
452	□	■○	24.44	6.80	5.47	6.03	3.00	1.52	3.65	.59	.08	.30	.33	46.55						596			233
453	□	■○	23.72	6.48	5.92	5.72	4.50	1.67	2.74	.66	.12	.40	.47	47.26						588			223
SM37	★	●○	19.82	7.70	9.69	6.00	6.90	2.63	.62	1.67	.15	.24	.47	44.14						416			27
SM47	▼	●○	19.09	8.36	9.47	6.75	2.78	2.62	.25	1.20	.15	.65	.51	47.47						141			25
SM320	●*	●○	20.46	7.84	8.99	6.13	5.50	2.20	.75	.84	.12	.33	.25	46.49						266			44
SM416	◆	●○	21.13	8.57	8.92	3.37	5.43	3.56	.87	1.37	.15	.26	.75	46.14						430			40
SN44	●*	●○	21.40	8.36	9.15	4.32	4.72	2.39	.41	.98	.15	.29	.19	47.02						273			54
SN325	●*	●○	17.93	7.55	8.29	4.80	6.82	1.79	.46	.84	.12	.33	.88	50.34						251			55
SN329		●○	22.60																	258			123
S021	★○	●○	20.62	7.15	9.54	7.09	5.89	1.89	.32	1.15	.12	.33	.16	45.15						291			31
S028	◆	●○	20.15	7.41	8.04	6.18	6.93	2.00	1.16	1.31	.15	.28	.62	45.66						319			65
S033	◆	●○	22.71	8.12	7.91	4.13	5.36	3.41	.74	1.34	.15	.21	.10	45.16						585			43
S022a	▼	●○	24.56	8.44	7.11	4.28	1.93	3.78	.34	1.04	.12	.42	.07	47.23						149			29
S022b	▼	●○	22.20	7.91	8.59	5.58	5.54	2.34	.53	.72	.15	.23	.45	45.84						275			35
S027b	★○	●○	21.52	7.59	8.27	5.48	6.40	2.37	1.12	1.13	.12	.20	.42	44.90						335			57
S027d	★○	●○	21.12	7.41	8.15	7.30	7.00	1.63	1.03	.89	.12	.24	.22	44.94						373			59
S023	▼	●○	22.34	9.79	8.19	4.19	1.72	4.52	.21	1.19	.19	.12	.43	46.61						171			20
S027f	★△	●○	21.22	9.18	9.13	5.97	2.32	3.11	.08	1.13	.12	.56	1.00	46.83						164			13

PN94a	●○	●○	22.58	8.23	8.35	4.94	5.86	2.00	.74	1.13	.15	.23	.27	45.67						271			83
PN94b	★○	●○	21.64	9.39	9.06	3.04	4.93	3.37	.70	1.49	.15	.21	.43	45.59						548			48
PN94e	★○	●○	22.77	8.63	8.62	2.72	3.82	3.12	1.16	1.24	.12	.27	.12	46.76						531			77
PN94f	★○	●○	23.97	9.02	8.00	2.62	4.32	3.45	1.41	1.31	.15	.16	.02	45.69						472			75
PN94g	●○	●○	22.90	9.18	8.75	2.80	4.32	3.78	.70	1.43	.15	.17	.02	45.12						345			43
	▼	●○	22.34	9.79	8.18	4.19	1.71	4.53	.20	1.20	.12	.42	.08	46.62									
PN92	▼	●○	23.98	8.07	10.03	3.16	1.68	4.08	.08	1.10	.19	.38	.03	46.40						174			8
P051a	▼	●*	19.82	6.88	8.22	3.62	7.44	1.88	.88	1.26	.19	.35	2.12	47.74	49	39	371	94	381	188	178	189	64
P051c	▼	●*	22.00	7.40	8.64	3.07	4.13	.60	3.69	1.20	.16	.39	1.08	46.83	523	30	370	78	544	113	157	183	154
P051e	▼	●*	18.91	6.78	7.22	2.43	10.01	1.75	1.20	1.20	.21	.22	2.85	47.41	61	35	431	108	476	236	166	114	83
P051f	▼	●*	19.08	7.20	6.11	1.38	9.14	.94	4.32	1.35	.24	.25	2.60	46.41	278	28	309	93	314	140	185	112	257
P051i	▼	●*	16.53	7.22	7.51	1.80	10.97	.95	3.08	1.30	.31	.29	3.31	47.08	98	47	406	94	358	140	192	157	241
P051k	▼	●*	19.79	6.73	8.23	4.13	8.12	1.65	.86	1.35	.17	.31	1.91	47.28	135	47	479	180	523	241	207	198	31
P051o	▼	●*	21.97	6.29	7.03	3.36	7.38	1.55	.87	1.15	.13	.27	1.67	46.96	119	46	463	101	900	266	192	166	34
P051p	▼	●*	21.98	6.99	7.18	3.18	7.41	1.74	1.10	1.22	.15	.26	1.62	47.47	156	31	473	77	631	286	179	181	36
P051q	▼	●*	20.92	6.68	6.21	1.74	8.38	1.17	3.32	1.12	.21	.25	2.42	47.29	188	28	342	75	380	133	169	95	212
P052a	▼	●*	19.58	7.82	7.90	3.35	5.60	1.00	4.84	1.26	.22	.34	1.58	46.28	237	26	408	390	359	179	119	175	215
P052b	▼	●*	23.06	7.97	8.30	4.37	3.21	2.02	2.89	1.17	.09	.27	.29	46.10	454	42	398	58	687	518	145	136	165
P052c	▼	●*																		284			16
P052d	▼	●*	22.47	7.64	8.60	3.88	5.23	2.06	2.47	1.20	.18	.22	.13	44.89	303	31	383	57	480	642	177	69	93
P052e	▼	●*	22.83	7.93	7.07	3.96	5.77	2.29	2.06	1.20	.10	.24	.15	45.38	258	35	389	70	490	613	127	58	95
2 AF	▼	▲○	22.58	9.29	7.75	4.64	.64	2.27	3.73	1.32	.04	.46	.12	46.96									
3 AF	▼	▲○	19.63	9.50	9.69	4.16	3.35	.15	5.27	.63	.12	.32	.68	45.86									
4 AF	▼	▲○	20.87	6.85	10.68	5.64	3.32	.40	.95	1.37	.19	.29	.90	48.19									
8 AF	▼	▲○	18.48	8.54	12.59	5.67	2.18	.15	1.49	1.85	.23	.46	.96	47.12									
1"	▲	■*	23.56	7.83	7.86	3.89	2.64	2.82	1.49	1.91	.12	.38	.32	46.60						143			86
2"	▲	■*	23.56	7.83	8.67	3.83	2.25	2.37	2.49	2.04	.23	.29	.41	46.14						191			125
3"	▲	■*	26.29	5.21	5.78	3.08	5.61	1.48	1.41	1.25	.15	.56	.52	48.30						181			48
4"	▲	■*	23.95	8.01	8.57	3.43	2.47	2.70	3.19	2.04	.15	.17	.22	45.36						191			159
6"	▲	■*	23.89	7.28	9.26	3.44	2.79	2.52	2.90	1.92	.15	.15	.26	44.98						188			117
7"	▲	■*	23.63	7.73	9.14	3.77	2.18	2.34	2.95	1.92	.15	.17	.28	44.97						162			159
AG 14	★○	■*	24.44	9.26	5.58	3.09	3.74	1.75	2.77	.57	.10	.45	.30	47.72									
AX 49	●○	■*	21.40	8.79	8.51	4.70	6.44	2.57	.85	1.40	.13	.29	.29	45.56									
BD 5A	★	■*	21.92	9.84	6.56	3.36	6.22	2.72	1.50	1.34	.13	.25	.29	45.10									
BH 62	□	■*	22.62	7.67	8.50	5.53	6.55	1.43	.76	.85	.32	.42	.50	45.04									
DZ 1A	●○	■*	24.82	7.62	8.46	1.92	4.95	1.90	1.88	1.96	.14	.24	.12	45.55									
GN 331	▼	■*	23.88	8.86	5.25	3.76	3.04	2.66	2.82	.66	.12	.51	.30	47.61									
NA 75	●○	■*	24.68	8.47	5.12	4.12	4.54	2.17	2.39	.61	.10	.26	.01	46.03									
ND 72	★○	■*	19.21	8.44	10.04	6.08	3.43	1.14	2.16	1.43	.22	.65	.33	46.66									
NE 71	▲	■*	22.16	7.62	9.17	4.07	3.34	2.46	.85	1.65	.18	.60	.33	47.48									
NG 87	●	■*	22.06	7.94	8.47	3.87	6.67	2.60	.85	1.66	.18	.30	.29	45.31									
OH 4A	□	■*	21.12	6.30	6.13	6.18	6.00	1.19	2.88	.71	.19	.40	.63	47.91									
OJ 11	◆	■*	23.09	7.88	6.10	5.78	5.35	2.17	.87	.54	.11	.28	.20	47.82									
OK 53	□	■*	24.26	7.54	5.59	3.81	5.05	2.44	2.03	.66	.12	.30	.37	48.02									
OL 510	□	■*	23.76	6.93	5.93	3.94	5.93	1.83	2.32	.60	.14	.30	.49	47.92									
OL 511	▼	■*	19.58	8.20	6.68	1.78	6.51	1.14	5.29	1.53	.19	.40	.65	47.62									
OL 513	▲	■*	22.11	6.90	7.08	5.87	4.53	1.77	.99	.74	.14	.75	.49	48.60									
OL 721	●○	■*	24.87	8.52	5.01	5.06	3.49	2.35	3.48	.55	.09	.29	.01	46.22									
OL 722	▲	■*	26.04	7.67	6.06	4.50	1.88	1.71	2.12	.50	.10	.50	.16	49.17									
PN 62	◆	■*	25.76	8.20	5.53	3.79	4.14	1.86	2.32	.55	.18	.23	.38	47.46									
PQ 6G	■	■*	22.20	7.46	7.29	4.82	5.51	1.88	.85	1.12	.12	.50	.46	47.03									
PQ 6N	■	■*	22.32	7.46	7.98	4.58	5.26	2.08	.94	1.57	.12	.32	.42	48.01									
PR 7A	▼	■*	18.70	7.94	9.52	4.52	6.16	1.95	.94	1.40	.15	.47	.60	49.21									
SE 430	□	■*	21.92	9.52	7.29	4.50	1.84	.71	5.87	1.44	.15	.40	.10	46.50									
SI 5C	▼	■*	22.01	8.41	5.55	3.62	6.01	2.88	1.99	.69	.13	.47	.42	48.31									
SN 66	★	■*	20.70	8.10	8.74	5.00	5.77	2.56	.51	1.34	.15	.39	1.36	44.05									
SN 67	▼	■*	20.10	7.83	9.73	5.41	4.84	1.97	1.04	1.29	.15	.47	.30	47.12									
SO 52	★	■*	22.53	7.88	7.40	5.34	5.23	2.00	1.36	1.23	.12	.29	.32	46.36									
G10	▼	■*	19.79	8.04	7.95	6.69	3.79	1.26	1.37	1.11	.11	.50	.55	47.84									

n°éch. (1) (2)	Si	Al	Fe	Mg	Ca	Na	K	Ti	Mn	H	C	O	Ba	Co	Cr	Cu	Ni	Sr	V	Li	Rb
PIC VERT TETE DES CHETIVES																					
P2-20	▶○	23.11	7.65	9.32	1.75	2.47	.26	7.47	1.37	.04	.31	.56	45.26					75			452
P2-19	▶○	20.78	6.80	7.44	1.63	6.71	.40	7.09	1.11	.08	.30	1.78	46.23					120			360
P2-18	▶○	24.49	7.57	4.75	.90	4.28	.37	8.13	1.41	.04	.17	1.20	46.99					128			380
P2-17	▶○	22.25	7.52	7.46	1.99	4.22	.33	7.63	1.79	.02	.33	.81	45.88					122			370
P2-16	▶○	21.03	7.73	7.35	2.20	5.28	.22	6.64	1.31	.02	.40	1.32	46.57					201			435
P2-15	▶○	20.52	7.25	8.51	2.11	5.11	.40	7.35	1.14	.08	.36	1.32	45.69					124			357
P2-14	▶○	18.11	5.10	7.75	4.25	8.04	.14	3.90	.77	.08	.62	2.65	47.81					108			216
P2-13	▶○	23.88	6.61	6.45	1.18	5.03	.30	6.85	.90	.04	.31	1.22	46.96					99			300
P2-10	▶○	22.67	8.41	8.29	3.98	2.32	3.52	.50	1.20	.04	.48	.49	47.51					355			19
P2-9	▶○	22.67	8.41	10.24	3.61	.82	3.70	1.49	1.31	.04	.46	.02	46.38					300			50
P2-8	▶○	21.80	8.60	11.37	3.65	1.39	2.97	1.37	1.10	.04	.42	.27	46.19					416			43
P2-7	▶○	25.21	8.33	7.02	3.86	1.07	3.04	.99	1.07	.04	.48	.16	47.06					336			67
P2-6	▶○	23.11	8.15	9.55	3.25	.86	2.97	3.19	1.28	.04	.36	.38	46.06					306			110
P2-5	▶○	24.33	6.08	7.69	1.93	3.46	2.33	2.65	2.12	.04	.57	.53	47.70					273			110
P2-4	▶○	23.09	8.03	9.60	2.96	1.83	3.42	2.43	1.07	.03	.44	.33	46.34					330			110
P2-3	▶○	22.43	8.07	10.20	2.44	3.14	.70	4.69	1.10	.04	.41	.65	46.03					145			167
ORIS EN RATTIER																					
LS23a	●*	20.56	8.36	6.94	5.71	2.80	2.39	.42	1.14	.05	.77	.77	48.65	95	74	383	18	361	216	211	140	2
LS23b	●*	22.62	7.94	8.42	5.15	0.79	2.15	.65	1.57	.09	.77	.10	48.55	134	62	382	26	356	145	195	145	13
LS23c	●*	21.55	7.49	8.53	4.49	3.19	3.63	.39	1.10	.05	.39	.93	46.77	42	44	410	17	410	292	190	90	6
LS23d	●*	20.33	8.07	6.22	2.57	6.67	4.06	.63	1.20	.05	.31	2.00	47.58	999	37	395	11	244	577	149	67	16
LS23e	●*	19.91	8.79	10.62	4.38	2.21	3.58	.66	1.23	.05	.45	.48	46.21	99	53	433	23	353	124	206	82	20
LS23f	●*	23.60	8.97	8.05	3.73	.81	3.85	.51	1.04	.04	.45	.19	47.36	124	40	343	51	305	280	185	48	4
LAC DU VALLON																					
6	●○	20.77	8.57	7.25	4.37	3.39	1.41	4.93	1.19	.08	.50	.65	46.78					118			193
5	●○	21.27	8.84	8.91	4.40	1.57	1.56	4.77	1.35	.08	.59	.02	46.92					111			182
4	●○	21.40	7.99	7.98	2.95	4.25	.18	6.51	1.23	.12	.49	.79	46.56					122			257
3	●○	20.78	7.80	8.12	2.92	4.50	.82	5.77	1.13	.12	.43	.87	46.16					144			186
2	●○	21.90	7.40	8.03	2.86	4.07	.44	6.55	1.10	.08	.43	.63	46.23					127			283
1	●○	20.94	8.60	11.07	2.71	1.93	1.37	5.23	1.37	.04	.38	.02	45.68					141			254
1'	●○	21.27	8.49	9.91	4.16	2.35	2.42	1.99	1.30	.08	.42	.30	47.31					124			98
2'	●○	20.78	8.44	6.94	4.25	3.39	2.04	3.69	1.28	.08	.52	.79	47.01					135			158
3'	●○	30.87	4.34	4.00	2.05	4.25	.41	2.11	.54	.08	.36	.84	49.95					114			163
4'	●○	21.48	9.26	6.81	4.52	2.21	2.44	2.65	1.43	.08	.52	.52	47.36					119			116
5'	●○	20.68	9.92	8.28	4.31	2.00	2.48	2.73	1.37	.08	.54	.49	47.52					129			161
6'	●○	20.73	9.37	10.07	3.59	1.97	2.23	3.57	1.43	.08	.50	.33	46.64					121			145
7'	●○	19.11	7.49	7.49	2.68	6.86	1.30	4.85	1.20	.15	.56	1.36	46.35					147			175
LE VET																					
1V	●○	24.03	7.40	9.08	4.13	2.04	1.45	3.69	.77	.08	.45	.16	47.08					76			311
2V	●○	22.97	8.10	9.83	4.07	1.60	3.82	2.03	1.14	.08	.33	.16	46.37					330			84
3V	●○	20.12	7.67	12.16	4.58	2.54	3.41	1.45	.90	.08	.43	.53	45.76					250			49
4V	●○	20.99	7.67	7.49	4.43	3.57	.44	6.30	.83	.12	.47	1.02	46.34					287			303
5V	●○	21.69	8.55	9.22	3.56	2.50	.40	6.23	1.13	.08	.49	.38	45.33					81			267
COL D'HURTIERES																					
MU 72a	●*	22.90	9.98	6.61	1.67	2.19	.07	5.81	.86	.05	.58	.65	47.61	274	19	217	16	102	76	128	100	339
MU 72b	●*	23.93	8.07	7.03	4.57	1.45	3.23	1.26	1.16	.46	.46	.35	47.15	152	39	319	11	288	540	157	102	24
MU 72c	●*	22.44	9.00	7.80	5.70	.78	3.43	.59	1.19	.07	.56	.20	47.78	33	39	325	19	197	116	182	151	9
MU 72d	●*	22.58	8.60	7.13	5.69	.94	3.57	.63	1.17	.06	.60	.17	47.65	99	47	313	77	223	461	204	102	6
MU 72e	●*	22.30	8.36	6.34	4.51	2.87	3.85	.66	1.23	.04	.41	.75	47.29	132	44	337	80	239	647	187	67	9
MU 72f	●*	25.38	7.28	8.37	4.29	.40	2.45	.98	1.07	.04	.56	.08	48.14	180	26	338	15	380	309	194	88	17
MU 72g	●*	23.70	8.65	7.73	4.36	.71	3.61	.55	1.16	.07	.56	.18	48.04	66	35	348	76	257	358	250	98	2
MU 72h	●*	22.81	8.81	7.87	5.14	.61	3.61	.51	1.09	.06	.53	.18	47.62	99	40	358	269	242	286	235	88	11
MU 72i	●*	22.58	8.81	6.92	4.80	1.47	4.20	.48	1.24	.05	.50	.51	46.89	47	39	345	43	275	408	182	80	7
MU 72j	●*	20.29	8.62	6.22	5.21	.99	3.55	.46	.98	.05	1.37	.38	51.15	60	49	335	128	192	330	169	92	4
MU 72k	●*	22.86	9.53	6.40	5.40	.81	3.88	.59	1.20	.04	.53	.26	47.32	75	49	355	179	285	376	189	88	14
MU 72l	●*	20.85	9.05	8.18	5.72	2.19	3.55	.42	1.11	.05	.54	.61	47.97	33	45	372	46	243	227	197	122	8
MU 72m	●*	22.30	8.26	8.86	5.43	.34	2.86	.90	1.09	.05	.65	.10	47.58	62	45	332	50	278	76	182	117	10
MU 72n	●*	23.75	8.49	7.22	3.20	.13	3.86	1.19	1.00	.02	.82	.11	48.95	208	27	362	22	242	355	199	52	21
MU 72o	●*	23.47	9.29	7.02	3.29	1.97	3.69	1.69	1.15	.05	.40	.46	47.73	360	27	353	30	231	699	190	54	32

n°éch. (1) (2)	Si	Al	Fe	Mg	Ca	Na	K	Ti	Mn	H	C	O	Ba	Co	Cr	Cu	Ni	Sr	V	Li	Rb
COL DE PRES CLOS																					
MV761 ●*	18.70	7.28	9.03	5.76	6.38	1.38	.83	1.13	.08	.47	1.31	46.64	127	43	379	42	524	303	218	130	20
MV762 ●*	20.38	8.12	8.17	4.79	5.02	2.69	1.66	1.20	.09	.44	.69	46.60	252	44	400	37	365	460	241	67	34
MV763 ●*	21.36	7.99	9.50	2.84	3.64	3.43	1.64	1.22	.14	.36	.66	45.88	278	40	419	40	353	428	234	42	24
MV764 ●*	24.31	8.60	7.20	2.36	2.94	3.37	2.30	1.02	.09	.32	.43	47.20	239	19	320	30	315	352	111	49	63
MV765 ●*	22.48	8.23	9.93	3.47	1.72	4.16	.88	1.15	.08	.39	.15	46.11	125	34	328	27	372	453	230	49	11
MV766 ●*	21.08	7.72	10.75	4.93	4.02	2.49	1.88	1.16	.11	.39	.10	45.84	337	37	338	27	290	419	196	66	38
MV767 ●*	21.74	8.62	8.66	4.49	4.18	2.43	2.23	1.16	.12	.42	.06	46.46	360	45	411	44	376	557	227	66	57
MV768 ●*	19.68	7.57	7.70	4.09	6.65	3.15	.87	1.13	.11	.44	1.53	47.48	109	33	358	82	270	379	210	88	12
MV769 ●*	20.38	8.63	9.10	2.90	5.25	3.43	.65	1.05	.05	.40	1.25	47.49	64	23	330	40	218	195	197	69	13
COL D'ASPRES																					
10 A ●○	20.92	7.62	8.93	3.31	5.07	3.34	1.04	.72	.04	.50	1.00	47.24						191			33
9 A ●○	23.16	8.23	8.33	4.04	2.89	3.89	.58	1.32	.08	.44	.01	47.10						271			2
8 A ●○	23.75	8.23	7.54	3.95	4.68	3.38	.29	.87	.08	.22	.49	46.98						406			1
7 A ●○	23.89	8.04	7.55	3.98	2.64	4.15	.62	.96	.04	.44	.01	47;03						401			11
6 A ●○	22.46	8.04	3.60	2.26	6.22	2.15	5.10	.96	.19	.34	1.39	47.25						395			59
5 A ●○	24.17	8.89	8.36	1.75	1.47	1.37	6.89	1.14	.04	.18	.33	45.89									
4 A ●○	23.40	8.84	9.33	2.92	2.22	4.67	.78	1.14	.08	.34	.01	46.87						441			16
2 A ●○	20.47	8.94	9.80	3.92	3.11	.22	5.60	1.14	.15	.49	.35	45.53						177			42
COMBE D'ASPRES																					
464 ●○	21.69	8.63	7.65	4.82	3.22	4.04	.75	.93	.08	.41	.58	46.99						168			32
463 ●○	21.03	7.88	9.40	6.81	2.53	2.70	1.33	.96	.08	.52	.27	47.20						506			23
462 ●○	22.57	8.15	11.70	2.92	1.32	3.78	1.83	1.02	.04	.34	.03	45.66						417			52
461 ●○	24.33	9.50	7.24	2.62	1.89	4.71	.50	.87	.08	.46	.01	47.26						310			23
ROUTE D'ASPRES																					
471 ●○	18.91	7.83	6.43	4.52	7.08	3.34	.42	.90	.08	.56	1.87	47.93									
472 ●○	22.60	8.89	7.88	5.07	1.50	3.56	.33	.99	.04	.68	.02	47.87						152			19
473 ●○	23.63	8.26	7.56	5.22	1.42	3.04	.25	.96	.04	.74	.02	48.65						112			16
COL DE LAUPLAT - AIGUILLE DE MORGES																					
891 ●○	21.63	10.63	11.91	1.15	.75	.15	5.60	1.68	.04	.42	.02	46.03						38			322
893 ●○	19.63	7.90	9.39	8.50	2.39	2.37	.33	1.23	.19	.68	.01	47.26						180			17
793 ●○	19.12	8.36	5.28	3.05	6.93	1.74	3.07	2.04	.08	.63	1.45	48.06						123			197
795 ●○	21.29	8.36	8.28	3.88	3.82	2.45	1.90	1.29	.08	.46	.93	47.69						167			124
798 ●○	21.83	7.19	7.62	4.90	4.18	3.52	.78	.96	.08	.46	.86	47.53						119			19
7910 ●○	20.59	8.54	8.77	4.28	3.64	2.08	2.86	1.05	.04	.43	.90	47.08						150			157
7912 ●○	21.25	9.63	9.80	2.74	2.36	3.23	2.78	.98	.12	.38	.42	46.43						63			273
VALLON LONG																					
PM61b ●*	21.74	8.15	8.07	4.64	4.13	2.82	1.70	1.34	.14	.35	.17	45.68	664	58	358	19	350	457	216	58	63
PM61c ●*	20.15	8.50	10.42	2.05	4.15	2.34	3.76	1.32	.07	.30	.76	44.99	410	40	365	24	287	164	266	32	185
PM61e ●*	22.90	8.79	5.86	4.16	2.93	.16	5.62	.82	.09	.46	.15	46.16	999	29	179	15	212	290	147	60	235
PM61f ●*	23.65	8.57	8.53	2.63	2.42	4.78	.68	1.23	.09	.25	.24	46.20	132	46	368	33	314	267	193	52	18
PM61g ●*	19.68	7.78	5.33	2.00	8.99	3.12	1.83	1.03	.15	.28	2.46	47.40	146	37	320	33	314	135	116	30	82
PM61i ●*	20.89	8.98	9.65	4.19	2.37	2.74	2.35	1.40	.11	.44	.05	45.68	527	45	188	42	196	207	198	69	98
PM61j ●*	21.78	8.34	9.12	4.63	2.43	3.38	1.20	1.32	.15	.40	.13	46.06	365	50	285	35	312	385	223	73	38
PM61k ●*	19.96	8.20	8.80	4.78	4.17	2.18	2.09	1.28	.15	.46	.72	46.27	616	56	304	22	239	287	250	70	95
PM61l ●*	20.99	8.10	8.30	4.62	3.95	2.53	1.00	1.32	.14	.49	.76	47.24	213	52	353	46	316	172	219	78	28
PM61m ●*	20.24	7.90	8.33	3.40	5.90	2.38	1.78	1.29	.14	.40	1.25	47.02	339	50	312	40	282	152	224	53	55
PM61n ●*	20.99	7.94	9.19	2.98	4.43	2.46	1.63	1.28	.09	.42	.80	46.24	280	47	342	77	300	145	132	58	48
PM61q ●*	22.58	8.44	8.13	4.69	1.99	4.07	.76	1.35	.09	.38	.13	46.50	115	53	334	23	380	167	206	68	34
PM61r ●*	21.74	8.26	9.29	4.47	2.36	3.37	1.00	1.26	.12	.43	.13	46.02	268	57	365	22	346	336	237	63	41
PM61s ●*	19.90	8.46	8.03	1.80	6.11	.45	5.57	1.14	.09	.43	1.15	45.85	768	37	320	42	270	106	199	68	222
PM61u ●*	21.08	8.47	10.85	4.16	1.95	3,59	.60	1.46	.10	.44	.05	45.76	115	58	337	25	309	172	242	62	17
LES ARRACHES																					
5-9-1 ●	24.73	9.53	7.36	3.19	1.57	4.64	.33	1.08	.08	.34	.01	47.53						311			14
5-9-2 ●	21.97	7.83	8.83	3.91	3.71	3.56	.47	1.10	.12	.50	.68	47.75						388			14

n°éch. (1) (2) ROUTE		Si	Al	Fe	Mg	Ca	Na	K	Ti	Mn	H	C	O	Ba	Co	Cr	Cu	Ni	Sr	V	Li	Rb
SR51m	●*	20;62	7;50	6.32	4.85	4.73	2.40	1.15	1.03	.09	.43	1.82	48.02	27	45	350	10	290	250	116	119	67
SR52e	●*	19.40	8.20	7.28	5.19	4.66	2.15	1.43	1.39	.10	.50	1.34	47.36	102	40	485	18	317	140	228	174	90
SR53e	●*	18.83	7.40	8.03	4.29	6.04	1.64	1.66	1.29	.10	.46	1.86	47.14	44	44	430	72	330	125	182	134	123
SR54b	●*	19.73	7.04	6.34	4.38	7.05	1.79	1.39	1.22	.13	.44	2.18	48.22	62	30	405	10	398	136	162	132	102
SR54e	●*	18.83	8.04	6.86	5.06	6.25	2.98	.78	1.29	.08	.48	1.74	49.97	10	44	350	35	299	146	98	172	63
SR54g	●*	21.50	8.84	6.29	4.06	3.52	3.86	.73	1.46	.08	.44	.89	47.47	10	37	360	18	334	142	153	136	60
SR55b	●*	22.25	8.92	5.70	4.32	3.15	3.74	.81	1.24	.13	.42	1.01	48.14	27	37	440	37	388	185	175	182	71
SR56d	●*	22.40	8.52	7.05	2.23	4.56	2.51	2.76	1.22	.12	.30	1.30	47.60	65	37	389	56	307	126	157	54	220
SR56e	●*	21.97	8.73	6.98	4.18	3.24	3.40	.50	1.28	.08	.45	.94	48.11	10	41	377	18	370	114	133	182	34
SR57b	●*	20.94	7.57	7.25	3.97	5.22	3.01	.48	1.17	.10	.40	1.67	48.55	18	40	393	10	459	125	99	164	40
SR57c	●*	19.54	8.30	7.66	8.81	1.96	1.66	.15	.99	.08	.77	.48	48.24	109	91	343	10	365	104	228	254	10
SR57f	●*	21.92	9.05	8.88	4.57	1.15	4.01	.35	1.23	.11	.44	.35	47.03	10	99	379	658	431	104	137	172	27
SR57g	●*	17.15	6.03	5.83	3.30	11.92	2.43	.80	1.00	.17	.29	3.56	47.93	10	46	330	29	413	168	71	110	50
SR58d	●*	20;20	7.92	8.07	4.65	3.89	2.22	2.03	1.39	.09	.45	.98	51.90	222	55	377	46	366	150	235	148	123
SR58e	●*	20.10	8.26	8.26	5.72	3.52	3.18	.77	1.35	.09	.49	.70	46.95	318	65	431	186	418	222	130	179	13

ANALYSES PARTIELLES PAR FLORESCENCE X (INSTITUT DOLOMIEU)

n°éch.		Rb	Sr	K	Ca
S067	VS	57	246	.70	6.19
S068	VS			.81	2.45
S0610	VS	58	237	.69	4.64
S0611	VS	54	160	.80	2.43
S0612	VS	82	334	1.25	5.10
S0613	VS	50	370	1.21	6.46
S0614	VS	52	283	.87	4.54
S0618	VS	15	221	.28	5.35
S0621	VS	15	214	.23	7.20
S0622	VS	50	446	1.23	5.51
S0623	VS	27	301	.50	3.06
S0624	VS	31	283	.50	2.33
S0626	VS	66	256	1.26	4.61
S0627	VS	11	456	.21	5.47
S0628a	VS	76	387	1.50	5.55
S0628b	VS	83	392	.06	2.30
S0628C	VS	11	147	.06	2.72
S0631	VS	23	477	.76	5.41
S0632	VS	66	397	1.04	4.76
S0633	VS	34	415	.68	4.77
S0634	VS	17	290	.35	4.23
S0636	VS	23	328	.52	5.31
S0638	VS	34	369	.76	4.95
S0639	VS	51	351	1.56	4.57
S0640	VS	67	355	1.09	4.82
S0641	VS	33	403	.68	5.84
S0642b	VS	30	337	.87	5.54
S0642c	VS	9	289	.05	3.31
S0645a	VS	37	295		
S0645d	VS	38	337		
S051a	VS	148	290	1.59	5.30
S051b	VS	120	272	1.21	6.59
S052a	VS	34	501	.80	5.00
S052c	VS	55	356	1.09	4.82

n°éch		Rb	Sr	K	Ca
SM69a	VS	45	510	.92	4.17
SM69b	VS	92	628	1.63	3.88
SM610a	VS	15	261	.06	2.88
SM611a	VS	47	317	.65	4.71
SN61a	VS	40	295	.53	4.67
SN61b	VS	44	257	.59	5.02
SN62b	VS	49	286	.63	5.50
SN63	VS	66	345	.88	5.61
SN64	VS	225	202	1.52	4.47
SN67a	VS	38	123	.66	2.45
SN67b	VS	83	283	.92	5;11
SN71	VS	98	320	1.09	5.02
SM65	VS	57	293	1.33	5.93
SM64	VS	20	236	.22	3.99
SN53	VP	62	444	.94	4.80
S041a	VP	45	452	1.00	5.63
S053	VP	92	418	.95	5.17
SQ5Ia	Ch	73	319	.76	4.96
SQ5Ib	Ch	53	354	.81	4.96
SQ5IC	Ch	15	139	.09	2.38
SQ53b	Ch	47	264	.56	5.53
SQ52f	Ch	11	85	.06	2.30
SS51	Ch	78	323	1.11	5.84
SS53	Ch	65	337	.92	5.48
SR43	Ch	254	164	2.36	6.16
SR44	Ch	76	352	1.42	6.27
SR45	Ch	183	260	2.26	7.83
PM98	Sv	49	277	.54	5.20
PN61a	Cc	29	266	.59	6.28
PN61b	Cc	87	222	1.12	4.75
PN61c	Cc	74	274	.98	5.35
5"	GN	135	243		

n°éch.		Rb	Sr	K	Ca
19 9 10	CD	2	733	;10	5.25
19 9 11	CD	0	223	.12	5.69
1610 4	CC	95	77	2.41	1.25
1610 5	CC	95	105	2.60	1.48
PL73c	CCh	6	156		
PL73f	CCh	50	273		
PL73g	CCh	43	255		
PL76f	CCh	49	193		
PL76g	CCh	114	149		
PL76i	CCh	34	211		
PL76k	CCh	6	233		
PL761	CCh	22	397		
PL76m	CCh	30	300		
S02c	G	7	195	.12	6.46
S02d	G	16	237	.73	6.06
PM51a	Cc	66	204		
PM51b	Cc	118	135		
PM51f	Cc	168	154		
PM51j	Cc	472	168		
PM51k	Cc	400	137		
PM51o	Cc	17	121		
PM51p	Cc	312	116		
PM51r	Cc	409	125		
SM8I	PC	57	134	1.22	4.95
SM86	PC	35	173	.67	4.44
P	Beaufin	20	209	1.60	4.01
P083m	G	76	175	1.60	2.37
P1-2	Paletas	268	96	6.85	.69
P18	"	184	54	3.98	1.43
P1-9	"	41	340		
p1-12	"	347	79	6.97	1.72

TOPONYMIE

VS	Vallon de la Selle de Vallouise
VS Ch	Vallon de la Selle de Vallouise (Ravin de Chanteloube)
S	Sirac (Echantillons J.BIJU-DUVAL)
Sg	Sirac Glacier de Gouiran
Sv	Sirac Vallompierre
G	Gouiran (Col de. et Glacier)
Vp	Vallon de la Pierre
Ch	Champoléon
C	Crupillouse Aiguille Fourchée
Cc	Col et Vallon de Clapouse
V	Valbonnais
CD	Côte Dure
CC	Combes de Champ sur Drac
CCh	Combe et Cros des Chevrettes (Vallompierre)

(1) PETROGRAPHIE

●	Dolérite S.st. à pyroxène et amphibole
●*	" à pyroxène seul
●○	" à amphibole seule
■	Dolérite porphyrique
★	Dolérite ophitique à pyroxène et amphibole
★○	" à amphibole seule
◆	Dolérite microcristalline à amphibole
◆*	" " où le pyroxène subsiste
▲	Dolérite à chlorite
▲○	" où l'amphibole subsiste
▼	Filon spilitique
□	Kersantite ou minette

(2) ORIGINE DE L'ANALYSE CHIMIQUE

●Analyse nouvelle

●* CRPG Nancy

●○ Institut Dolomieu Grenoble

Analyse publiée :

▶ "Les Coulées spilitiques du Pic Vert"
J-L TANE et N. VATIN-PERIGNON BSGF 7e Sie t. XI 1969 p.102-105

■ "Les filons du massif du Pelvoux"
N. VATIN PERIGNON T. JUTEAU et P. Le FORT Géol. Alp. t.48 1972 p.207-227

Si, Al, Fe, Mg, Ca, K, Ti, Mn, H, C, O sont donnés en g/100g de roche

Ba, Co, Cr, Cu, Ni, Sr, V, Li, Rb en ppm

Rb et Sr ont été dans tous les cas, recalculés par la régression (ppm) = f(cps) avec cps = nombre de coups par seconde enregistrés en fluorescence X au Laboratoire de radiocristallographie de l'Institut Dolomieu
l'étalonnage de la régression a été effectué d'après
77 dosages CRPG Nancy
21 dosages par absorbtion atomique à la Faculté de Géologie de Clermont Ferrand (prédosages pour la géochronologie)
61 dosages de Rb (en double pour la plupart) par le LAREC Electrochimie Grenoble

CO_2 Dosages LDP de Serres Castet

CONVERSION DES "TENEURS EN OXYDES" EN "TENEURS EN g/100g DE ROCHE"

Formule générale : [ ] = teneur en -

$$[\text{élément}] = \frac{[\text{oxyde}] \times \text{Masse atomique de l'élément} \times \text{nb d'atomes de l'élément dans l'oxyde}}{\text{Masse moléculaire de l'oxyde}}$$

$$= [\text{oxyde}] \times \text{constante}$$

Constantes : base des masses atomiques $C_{12} = 12$ g.

C (SiO_2)	= 0,46744
C (Al_2O_3)	= 0,52925
C ($Fe_2O_3^T$)	= 0,69900
C (MgO)	= 0,60304
C (CaO)	= 0,71470
C (Na_2O)	= 0,74186
C (K_2O)	= 0,83016
C (TiO_2)	= 0,59883
C (P_2O_5)	= 0,43640
C (MnO)	= 0,77446
C (H_2O)	= 0,11190
C (CO_2)	= 0,27292

- $[H_2O] = [H_2O^+] + [H_2O^-] - [CO_2]$ ou $PF_{1000°c} - [CO_2]$

- $[Fe_2O_3^T] = [Fe_2O_3] + 1{,}1113\ [FeO]$

- teneur en oxygène

$$[O] = \text{total de l'analyse en oxyde (1)} - ([Si] + [Al] + [Fe^T] + [Mg] + [Ca] + [Na] + [K] + [Mn] + [Ti] + [H] + [C])$$

---

(1) dans le cas de l'analyse conventionnelle par voie humide le total de l'analyse doit être majoré de la plus value due à la conversion de FeO en Fe_2O_3, c'est-à-dire 0,1113 [FeO].

B I B L I O G R A P H I E

- ALSAC.Cl. "Nature pétrographique et origine des albitophyres du Dôme de Rémolon (Htes-Alpes)" C.R.A.S. T250 n° 9 - 1960 -
- " "Contribution à l'étude des albitophyres et orthophyres du Dôme de Rémolon (Htes-Alpes)" T.L.G.Grenoble T.37 - 1961 -
- AMSTUTZ G C "Kupfererze in den spilitischen Laven des Glarner-Verrucano" Schw.Min. und Petr.Mitt. 30 p.182-191 - 1950 -
- " "Geologie und Petrographie des Erguszgesteine in Verrucano des Glaren Freiberges"; Thèse Zurich Men.Inst.Vulc.Im.Friedlaender, n°5 - 1954 -
- " "Les laves spilitiques et leurs gîtes minéraux" Geologische Rundschau Vol.47 n°3 p.936-954 - 1968 -
- APRAHAMIAN.J. "Etude géologique des montagnes du Beaumont et de la Salette (Isère) (Secteur S-W du Pelvoux). Thèse 3e cycle Grenoble - 1968 -
- ARAMAKI.S. "Geology of Asama volcano". Jour.fac.sc.Tokyo. Sect.2, 14, n° 2, p.229-443 -1963 -
- AUBOUIN.J. ; BROUSSE.R. ; LEHMAN.J-P. " Précis de géologie". Pétrologie T.I. Dunod - 1968 -
- BABKINE.J. ; CONQUERE.F. ; VILMINOT.J-C. "Nodules de péridotites et cumulats d'olivine" Bull.Soc.Franç.Min.Crist. LXXXIX p.262-268 - 1966 -
- BAILEY.S-W. "Détermination of chlorite composition by X-ray spacings and intensities". Clays and clay minerals Vol.20, p.381-388 - 1972 -
- BAKER.P.E. "Handbook of gecchemistry" Section 56-E, (fig.56-E.3) - 1968 -
- BAMBAUER.H.V. ; CORLEI.M. ; EBERHARD.E. ; VISWANATHAN.K. "Diagrams for the determination of plagioclases using X-ray powder methods". (Part III of laboraty investigation on plagioclases) Schw.Min.und Petr.Mitt.47 p.333-349 - 1967 -
- BARBIER.R. "L'âge des spilites du versant du Pic des Trois Evêchés, près du Col du Lautaret (Htes-Alpes)". C.R.S.Geol.Franç. n° 7, p.148 - 1954 -
- BARNES.H.L. (Editor) "Geochemistry of hydrothermal ore deposits". Holt, Rinehart and Winston inc. - 1967 -
- BARTH.T.F W. "Theorical petrology" 2nd Edition J.Wiley,Ed.intersciences - 1962 -
- " "Feldspars". J.Wiley, Ed.Intersciences - 1969 -
- BARTOLI.F. "Etude pétrologique et structurale du Haut-Vénéon (Massif du Pelvoux)". Thèse 3e cycle Grenoble - 1973 -
- BELLAIR.P. "Pétrographie et tectonique des massifs centraux dauphinois". I.Le haut massif. Mem.Serv.Carte.Géol.Franç. 355p. - 1948 -
- BESSON.L. "Contribution à l'étude micropaléontologique et géochimique du tertiaire du synclinal d'Annot (Alpes de Hte Provence)". Thèse 3e cycle Grenoble - 1973 -

- BOUDIER F.NICOLAS A. "Fusion partielle gabroïque dans la lherzolite de Lanzo (Alpes Piémontaises)". Bull.Suisse de Min.et Pétr. Vol.52/I p.39-56 - 1972 -
- BRINDLEY G.W. , GILLERY F.H. "X-ray indentification of chlorites species". Am.Min. Vol.41 n° 3 et 4 p.169-186 - 1956 -
- BRINDLEY G.W. "Chlorites minerals in the X-ray identification and crystal structures of clay minerals". (G.Brown, Editor) Chap.6, p.242-296 London, Min.Society - 1961 -
- BROUSSE R. "Etude pétrographique et géochimique du Massif du Mont-Dore". Bull.Soc. Franç.min.et Crist. Vol.84, p.131-186 et 245-259 - 1961 -
- BUFFIERE J-M. ; TANE J-L. "Le Trias de la couverture N.W. du Massif du Pelvoux". Colloque du Trias. Mem.B.R.G.M. n° 15 - 1963 -
- BURNHAM C.W. "Hydrothermal fluids at the Magmatic Stage". Geochemistry of hydrothermal ore deposits Barnes Ed. p.34-76 - 1967 -
- CADISCH J. "Geologie der Schweizer Alpen". Wepf & Co.Verlag.Basel - 1953 -
- CANN J.R. "Spilites from the Carlsberg Ridge, Indian ocean". Journal of petrology. Vol.10 Part.I, p.1-19 - 1969 -
- CHAYES F. "Titania and aluminia content of oceanic and circum oceanic basalts". Min.mag. Vol.34 n° 268, p.126-131 - 1965 -
- DARS R. "Les formations sédimentaires et les dolérites du Soudan occidental (Afrique de l'Ouest)". Mémoires du B.R.G.M. n° 12 - 1961 -
- DEN TEX E. "Les roches basiques et ultrabasiques des lacs Robert et le Trias de Chamrousse (Massif de Belledonne)". Leidse Geologische Mededelingen. DEEL XV p.1-204, Leiden - 1950 -
- DEVEY H. ; FLETT J.S. "On some Bristish pillows-lavas and the rocks associated with them". Geol.Mag. Vol.8, p.202-209 et p.241-248 - 1911 -
- DURAND B. ; GAGNY C. "Observations sur le mode de gisement et les conditions de mise en place des coulées volcaniques spilitisées de Peyrebrune (région de Réalmont, Tarn, France)". Geol.Rdsch.Dtsch. Vol.55 p.329-341 - 1965 -
- DUNOYER DE SEGONZAC G. "Les minéraux argileux dans la diagénèse, passage au métamorphisme". Mem.Serv.Carte.Géol.Als.Lorr. n° 29 - 1969 -
- ESKOLA P. ; VUORISTO U. ; RANKAMA K. "An experimental illustration of the spilite reaction". C.R.S.Geol.Finlande n° 9, - 1955 -
- ESQUEVIN J. Bull.Centre de recherche de Pau. SNPA 3/1 p.147-153 - 1969 -
- EVANS H.I. "Handbook of geochemistry". 23-A-1 Springer Verlag, Berlin - 1969 -
- FISCHESSER R. "Données des principales espèces minérales". J.&R.SENNAC Paris -1959-
- FONTEILLES M. "Séries volcaniques paléozoïques de la Bruche (Vosges) et la Brévenne (Massif Central français). Etude de la spilitisation". BRGM Section II n° 3, p.1-54 - 1968 -
- FOSTER M.D. "Interpretation of the composition and a classification of the chlorites U.S.G.S. Prof.Paper, 414-A, p.33 - 1962 -

- GAPEEVA.G M. "Origin of the lamprophyres and their position in the genetic classification of rocks". Mem.Soc.Russe.Min. Vol.89, n° 5, p.542-554 - 1960 -
- GRATIER.J-P. ; LEJEUNE.B. ; VERGNE.J-L. "Etude des déformations de la couverture sédimentaire des massifs cristallins externes de Belledonne, des Grandes Rousses et du Pelvoux". Thèse 3e cycle Grenoble - 1973 -
- GREEN.D.H ; RINGWOOD.A.E. "The genesis of basaltic magmas, contributions to mineralogy and petrology". Springer verlag Vol.15 n°2, p.103-192 - 1962 -
- GRIFFIN.J.J. ; WINDOM.H. ; GOLDBERG E.D. "The distribution of clay minerals in the world ocean". Deep-sea research. Vol.15, p.433-459 ; Pergamon press. Great Britain - 1968 -
- HART.R A. "Chemical exchange between seawater and deep-ocean basalts". Earth. Planet.Sc.Letters.9 p.269-279 - 1970 -
- " "A model for chemical exchange in the basalt-seawater system of oceanic Layer II". Canadien journal of earth sciences Vol.10 p.799-816 -1973-
- HEIER.K.S. ; BILLINGS.G.K. "Lithium". Handbook of geochemistry, 3-F-1 Springer verlag, Berlin-Heidelberg - 1969 -
- HELGESON.H.C. "A chemical and thermodynamic model of ore deposition in hydrothermal system". Miner.Soc.Amer. Sp publication n° 3 - 1970 -
- HERMANN A.G. ; WEDEPOHL.K.H. "Etude sur des roches spilitiques du géosynclinal hercynien au N-W de l'Allemagne". Contr.Min.Petr. Dtsch. T.29, p.255-274, Trad. CRPG, Nancy n° 5358 - 1970 -
- HEY.M.H. "A nex review of the chlorites". Min.Mag. Vol.30 p.227-292 - 1954 -
- HOLLAND.D.H. "The solubility of carbonates minerals". in BARNES - 1967 -
- HUGHES.C.J. "Spilites, keratophyres, and the igneous spectrum". Geol.Mag. 109(6) p.513-527 - 1973 -
- JANOV.E.N. "Contribution à l'étude de l'origine des colorations rouges et grises des roches sédimentaires". Dokl.Akad.Nauk. SSSR 3.6, p.1330 Trad. S.I.G. n° 1650 - 1956 -
- JUNG.J. "Précis de pétrographie". Masson - 1958 -
- JUNG.J ; MICHEL.R. ; BROUSSE R. "Caractères régionaux du volcanisme récent de l'Auvergne (Massif Central Français)". C.R.Cong. Géologique international de Mexico Sect.1, p.439-450 - 1956 -
- JUTEAU.Th. "Pétrogénèse des ophiolites des nappes d'Antalya (Taurus Lycien oriental, Turquie) ; leur liaison avec une phase d'expansion océanique active au Trias supérieur". Sc.Terre Nancy T.XV n°3 p.265-288 - 1970 -
- " "Nouvelles données cartographiques, pétrographiques et chimiques sur le massif dévono-dinantien du Rabodeau (Vosges septentrionales). Pétrogénèse d'une série spilite-keratophyre "hercynotype" complexe". Sc.Terre Nancy T.XVI, p.45-106 - 1971 -

- JUTEAU Th. ; ROCCI G. "Contribution à l'étude pétrographique du massif dévonien de Schirmeck (Bas-Rhin)". Bull.Serv.Carte.Geol. Als.Lorr. 18, 3, p.145-176 Strasbourg - 1965 -
- JUTEAU Th. ; ROCCI G. "Etude chimique du massif volcanique dévonien de Schrimeck (Vosges septentrionales)". Sci.Terre, Nancy T.XI, n°1, p.68-104 -1966-
- KARPOFF A.M. "Géochimie de deux toposéquences de sols tropicaux du Tchad". Thèse 3e cycle Strasbourg - 1973 -
- KEPEZ HINSKAS K.B. "Composition of chlorites as determined form their physical properties". Dokl.Akad.Nauk.SSSR., Earth Sci.Sect.164, p.126-129 (Trad.anglais) - 1965 -
- KNOPFF A. "Igneous geology of the Spanish peaks region, Colorado". Geol.Soc.Am. Bull. 47, p.1727-1784 - 1936 -
- KRAUSKOPF K.B. "Introduction to geochemistry". Mc Graw-Hill - 1967 -
- KUBLER B. "Les argiles indicateurs de métamorphisme". Revue I.F.P. XIX (10) p.1093-1113 - 1964 -
- " "La cristallinité de l'illite et les zones tout à fait supérieures du métamorphisme, étages tectoniques". Colloque de Neufchâtel (1966) Ed. de la Baconnière p.105-122 - 1967 -
- " "Evaluation quantitative du métamorphisme par les cristallinités de l'illite". Bull.Centre de rech. Pau SNPA 2, p.385-394 - 1968 -
- KUNO H. "High Alumina Basalts". Journ.Petr. GB, 1 n°2, p.121-145 - 1960 -
- de LA ROCHE H. ; KERN J ; BOLFA J. "Contribution à l'étude de l'altération des ilménites du Sud Est de Madagascar". Sci.Terre TVIII n° 3-4 p.215-248 Nancy - 1961 -
- de LA ROCHE H. "Sur l'expression graphique des relations entre la composition chimique et la composition minéralogique quantitative des roches cristallines". Sci.Terre Nancy T-IX n° 3, p.293-337 - 1964 -
- " Comportement Géochimique Différentiel de Na, K et Al dans les formations volcaniques et sédimentaires : un guide pour l'étude des formations métamorphiques et plutoniques. C.R.A.S. T-267, p.39-42 - 1968 -
- de LA ROCHE H ; LETERRIER J. "Transposition du tétraèdre minéralogique de YODER et TILLEY dans un diagramme chimique de classification des roches basaltiques". C.R.A.S., T.276, série D, p.3115-3118 - 1973 -
- de LA ROCHE H. ; ROCCI R. ; JUTEAU Th. "Essais de caractérisation chimique des associations spilitiques". Manuscrit pour le volume Spilites édité par Amstutz (remis le 12.09.1969)
- LE FORT P. "Géologie du Haut-Dauphiné". Thèse Nancy, 4 Vol.Arch. Centre.Doc.CNRS n° AO 5301 - 1971 -
- LE FORT P. ; PECHER A. "Présentation d'un schéma structural du Haut-Dauphiné cristallin". C.R.A.S., 273, série D, p.3-5 - 1971 -

- LETERRIER.J. ; de LA ROCHE.H. "Extension aux basaltes d'une typologie chimique des roches ïignées acides et intermédiaires". C.R.A.S. T-274, série D, p.788-791 - 1972 -

- LIENHARDT.G. "Causes et génèse des colorations rouges et vertes du saxonien et du Trias de la région de Lons-Le-Saulnier (Jura)". Colloque du Trias. Mem. B.R.G.M. n° 15 - 1963 -

- LOEWINSON-LESSING.F. "Lexique pétrographique". publiée par Comm.Int.Petr. VIII° Congr.Géol.Int. Paris - 1900 -

- MACKENZIE.R.C. "The differential thermal investigation of clays". Min.Soc.London - ,957 -

- MARSHALL.WL. ; SLUSHER.P. ; JONES.E.V. "Aquaeous systems at hight temperature Solubility and thermodynamic relationships for $CaSO_4$ in NaCl-H_2O solutions from 40° to 200°C, 0 to 4 modal NaCl". Journ.Chem.Eng.Data 9 p.187-191 (1964) Cité dans Holland - 1967 -

- MAURIN.N. "Contribution à l'étude expérimentale du rôle de l'eau dans la mise en solution d'éléments chimiques constitutifs du basalte et dans la précipitation de certain sels en milieu marin. Application au volcanisme spilitique". Thèse 3e cycle Grenoble - 1972 -

- MICHEL.R. ; MORET.L. ; TANE.J-L. "Sur la présence de spilites potassiques dans la couverture triasique du Pelvoux". C.R.A.S. T.251, P.184-187 - 1960 -

- MICHEL.R. ; TANE.J-L. "Découverte de laves en coussins (Pillow-lavas) dans le Trias de la zone dauphinoise, Pelvoux". C.R.A.S. T.250, p.273-275 -1960-

- MICHEL.R. ; VERNET.J. "Une cheminée volcanique triasico-liasique en Dauphiné : l'Aiguille Fourchée (secteur Sud du Pelvoux, Htes-Alpes)". C.R.A.S. T.242, 3096, - 1956 -

- MONTANARI.R. "La séparation des minéraux des roches à grain très fin ; mise au point de méthodes et application à une série spilites-kératophyre". Thèse 3e cycle Nancy - 1972 -

- MORET.L. "Sur une roche à faciès variolitique, mais orthosique, provenant des conglomérats de Saint-Offenge près d'Aix-les-Bains (Savoie)". T.L.G.Grenoble T.34, p.31-33 - 1958 -

- NICOLAS.A ; BOUCHEZ.J-L. ; BOUDIER.F. "Interprétation cinématique des déformations plastiques dans le Massif des lherzolites de Lanzo (Alpes piémontaises)- Comparaison avec d'autres massifs". Tectonophysics 14, p.143-171 -1972-

- NIGGLI.P. "Rocks and minerals deposits". W.H.Freemann & Co. San Francisco - 1952 -

- NOCKOLDS.S.R. ; ALLEN.R. "The geocheminstry of some igneous rocks series". Geoch. Cosm.acta. Vol.4, p.105-142. Pergamon press London - 1963 -

- NORIN.E. "Geology of western Quruq Tagh, eastern T'ien=Shan ; China". III Geology I. Bokförlags Aktiebolaget Thule. Stockholm - 1937 -

- PARSONS.I "Homogeneity in alcali-feldspars". Min.Mag. Vol.36 - 1968 -
- PEACOK.M.A. "Classification of igneous rocks series". Journ.of.Geol. Vol.39, p.54-67 - 1931 -
- PEACOR.J. "Manganese". Handbook of geochimistry, 25-A-9 - 1972 -
- PECHER.A. "Etude pétrographique de la partie occidentale du Massif des Ecrins-Pelvoux. Le socle ancien". Thèse 3e cycle Grenoble - 1970 -
- " "Données sur la construction et l'utilisation de quelques diagrammes pétrographiques et géochimiques". Inst.Dolomieu Série Doc.Int. n° 72, D 21, - 1972 -
- PETRUK.W. "Determination of the heavy atom content in chlorite by means of the X-ray diffractometer". Am.Min. Vol.49, p.61-71 - 1964 -
- PHILLIPS.WM R "A differential thermal study of the chlorites". Min.Mag. Vol.33, p.404-414 - 1962 -
- PODOL'SKIY.Y. "Linear paragenesis of the main rock forming elements of the alkalic rocks in the central part of the Kola peninsula". Dokl.Akad.Nauk. SSSR Vol.146, n°2, p.443-446 - 1962 - Trad. Am.Geol.Inst. 146, p.155-157 - 1964 -
- POTY.B ; WEISBROD .A. ; STALDER.H.A. "Température et pression de croissance des cristaux de Quartz des fentes alpines dans les Alpes françaises et suisses". Bull.de la réun.an.Sc.de la Terre Paris, p.343 - 1973 -
- POUGH.F.H. "Guide des minéraux et des roches". Delachaux & Niestlé, éditeurs Neufchâtel - 1969 -
- PUCHELT.H. "Abondance of Ba in Rock Forming Minerals and Ba Minerals". Handbook of geochemistry. 56-E-5 - 1972 -
- RICOUR.J. "Contribution à une révision du Trias français". Thèse Mem.Serv.Carte. Geol.France - 1960 -
- RITTMANN.A. "Les volcans et leurs activité". Masson - 1963 -
- ROCCI.G. "Spilite-kératophyres et ophiolites, influence de la traversée d'un socle sialique sur le magmatisme initial". Geol.Mijnbouw, Vol.47(5), p.330-339 - 1968 -
- ROSENBUSCH H "Elemente der Gesteinslehre". E.Schweizerhart'sche Verlagshandlung (E.Nägele) Stuttgart - 1968 -
- ROUBAULT.M. ; FABRIES J. ; TOURET J. ; WEISBROD.A. "Détermination des minéraux des roches au microscope polarisant". Lamarre-Poignat 365p. - 1963 -
- SARROT-REYNAULD.J "Trias du Dôme de la Mure et des régions annexes". Colloque du Trias. Mem. B.R.G.M. n° 15, - 1963 -
- " "Le volcanisme Permo-Carbonifère dans la zone des massifs cristallins externes des Alpes françaises". Ve Congr.Int.Str.Geol. du Carbonifère 1963 ; Extraits p.741-753 - 1964 -

- SAUPE.F. "La géologie du gisement de mercure d'Almadén (Province de Ciudad Real, Espagne)". Thèse CNRS n° AO.5328 Nancy - 1973 -
- SCHOEN.R. "Semi-quantitative analysis of chlorites by X-ray diffraction". Am.Min. Vol.47, p.1384-1391 - 1962 -
- SHIROZU.H. "X-ray powder patterns and cell dimensions of some chlorites in Japan, with a note on their interference colors". Min.Journ.2, p.209-223-1958-
- SHROLL.E. "Chimical elements in the main rock types". Origine and distribution of the elements. Vol.30, L.H.Ahrens, Editor. Cap Town - 1968 -
- SMITH.R.E. "Redestribution of major elements in the alteration of some basic lavas during burial metamorphism". Journ.Petr. Vol.9 Part.2, p.191-219 - 1968 -
- SOLER.E. "L'association spilites-keratophyres de la province de Huelva (Espagne)". Thèse 3e cycle Paris - 1969 -
- TANE.J-L. "Contribution à l'étude des laves d'âge triasique de la zone alpine externe (région de Villard Notre-Dame, Massif du Pelvoux)". T.L.G.Grenoble, T.37, p.157-166 - 1961 -
- " "Contribution à l'étude des laves spilitiques du Massif du Pelvoux". Thèse 3e cycle Grenoble - 1962 -
- " "Sur la génèse des laves spilitiques du Massif du Pelvoux (Alpes du Dauphiné)". 88e Congr.Soc.Sav. (II), p.191-199 - 1963 -
- " "Contribution à l'étude du phénomène de spilitisation". T.L.G.Grenoble T.43, p.187-192 - 1967 -
- " "Quelques observations nouvelles relatives à la génèse des laves spilitiques". A paraître dans le volume "Spilites", édité par Amstutz.
- TANE.J-L. ; VATIN-PERIGNON.N. "Les coulées spilitiques du Pic Vert (Massif de l'Oisans)". B.S.G.F. 7e série T.XI, p.102-105 - 1969 -
- TERMIER.P. "Sur les roches de la série porphyrique des Alpes françaises". C.R.A.S. t.116, p.900-902 - 1893 -
- " "Sur la tectonique du Massif du Pelvoux". B.S.G.F.24, série 3,p.734-1896-
- " "Sur le graduel appauvrissement en chaux des roches éruptives de la région du Pelvoux". C.R.A.S. t.124, p.633 - 1897 -
- " "Sur l'élimination de la chaux par métasomatose dans les roches éruptives basiques de la région du Pelvoux". Bull.Soc.Geol.Fr. (3), 26, p.165 - 1898 -
- TERMIER.P. ; KILIAN.W. "Notice explicative de la feuille Briançon de la carte géologique détaillée au 1/80.000e de la France".
- TURNER.F.J. ; VERHOOGEN.J. "Igneous and metamorphic petrology". Mc Graw-Hill -1951-
- VALENCE.T.G. "Concerning spilites". Proc.Linn.Soc.New South Wales Vol.IXXXV part.1 p.8-52 - 1960 -

- VALENCE.T.G. "On the chemistry of the pillow-lavas and the origin of spilites". Min.mag. Vol.34, p.471-481 - 1965 -

- " "Spilites again : some consequences of the degradation of basalts". Proc.Linn.Soc.New South Wales. Vol.94, part.1 - 1969 -

- VAN OVEREEM.A.J.A. "A section through the Dalformation ; a contribution to the geologie of Dalsland, S-W Sweden". Drukkery "de Slentelstad" Nieuwe Rijn 78. Leiden - 1968 -

- VATIN-PERIGNON.N. ; JUTEAU.Th. ; LE FORT.P. "Les filons du Massif du Pelvoux (Alpes occidentales Françaises)". T.L.G.Grenoble T.48, p.207-227 - 1972 -

- VATIN-PERIGNON.N. ; SHAW.D.M. "Comportement du Li et d'autres éléments en trace dans quelques coulées triasiques de l'aiguille de Morges (Alpes françaises méridionales), une contribution au problème de l'origine des roches spilitiques". T.L.G.Grenoble t.48, p.201-206 - 1972 -

- VELDE.D. "Minettes et kersantites, une contribution à l'étude des lamprophyres". Thèse CNRS Paris n° AO.2798 - 1969 -

- VERNET.J. "La zone Pelvoux-Argentera ; Etude sur la tectonique alpine du socle dans la zone des massifs cristallins externes du Sud des Alpes occidentales". Bull.Serv.Carte.Geol.France n°275 t.LX - 1965 -

- VINOGRADOV.A.P. "Moyennes des teneurs en éléments chimiques dans les principales roches ignées de la croute terrestre".(en Russe) Geochimica 7 p.641-664 - 1962 -

- VON ENGELHARDT.W. "Die Structuren von Thuringit, Bavalit und Chamosit und ihre Stellung in der chloritgruppe". 2, Krist.104 p.142-159 - 1942 -

- VUAGNAT.M. "Sur quelques diabases suisses. Contribution à l'étude du problème des spilites et des pillow-lavas". Bull.Suisse.Min.Petr.t.XXVI p.115-228 - 1946 -

- " "Sur le caractère spilitique des mélaphyres de la région du Pelvoux". Arch.Sciences.Genève Vol.64 n°2 - 1947 -

- " "Sur les pillow-lavas Daldariennes de la péninsule de Tayvallich (Argyllshire)". Schw.Min.Petr.Mitt.29 p.524-536 - 1949 -

- " "Quelques réflexions sur le complexe basique et ultrabasique de la zone d'Ivrée et les ultramafites alpinotypes". Schw.Min.Petr.Mitt. 48/I, p.157-164 - 1968 -

- VUAGNAT.M. ; PUSTASZERI.L. "Réflexions sur la structure et le mode de formation des coulées en coussins de Montgenèvre (Htes-Alpes)". Arch.Sciences.Genève Vol.18, fasc.3, p.686-689 - 1965 -

- " " "Sur la présence de hyaloclastites dans le Massif du Montgenèvre (Htes-Alpes)". Arch.Sciences.Genève Vol.18, fasc.1 p.120-123 - 1965 -

- WESTPHAL.M. "Etudes paléomagnétiques de quelques formations permiennes et triasiques dans les Alpes occidentales - France -". Tectonophysics 17, p.323-335 - 1973 -

- WRIGHT.T.L. "X-ray and optical study of alkali feldspars ; II an X-ray method for determining the composition and structural state from measurement of 2 values for three reflections". Am.Min. Vol.53 p.88-104 - 1968 -

- YODER.H.S. ; TILLEY.C.E. "Origin of basalts magmas : an experimental study of natural and synthetic rock systems". Journ.Petr. Vol.3 n°3 p.342-352 - 1962 -

- YODER.H.S. "Spilites and serpentinites". Geoph.Lab.Carnegie institution 1965-1966 (annual report of the director).

- ZWAAN.P.C. "On the determination of pyroxens by X-ray powder diagrams". Leidse Geologische Mededelingen, Deel XIX, p.167-274 - 1954 -

Vu,

Grenoble, le

le Président de la Thèse

R. MICHEL

Vu, et permis d'imprimer,

Grenoble, le

le Président de l'Université

Scientifique et Médicale

M. SOUTIF